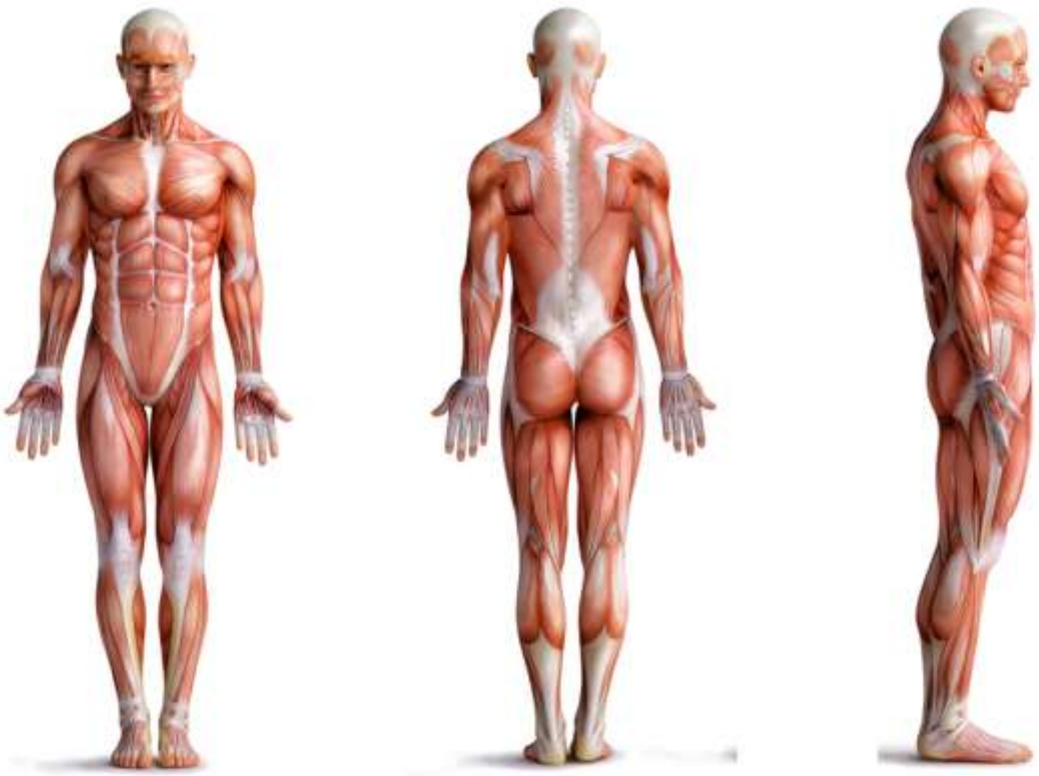
# เอกสารประกอบการเรียนการสอน

# โรงเรียนนาวิกเวชกิจ ศูนย์วิทยาการ กรมแพทย์ทหารเรือ

## วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์

## (Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)




โดย ว่าที่นาวาเอก สุเทพ จันทร์เทศ วทม.(สรีรวิทยา)

เรือตรี อานนท์ ศิลาเพชร วทม.(สรีรวิทยา)

# สารบัญ


| **เนื้อหา** | **หน้า** |
|---|---|
| **แผนการสอน บทที่ 1** เรื่อง บทนำกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา | 1 |
| **แผนการสอน บทที่ 2** เรื่อง เซลล์วิทยา | 17 |
| **แผนการสอน บทที่ 3** เรื่อง เนื้อบุผิวและเนื้อยึดต่อ | 41 |
| **แผนการสอน บทที่ 4** เรื่อง ระบบปกคลุมร่างกาย | 53 |
| **แผนการสอน บทที่ 5** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบโครงร่าง | 63 |
| **แผนการสอน บทที่ 6** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบกล้ามเนื้อ | 99 |
| **แผนการสอน บทที่ 7** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบหายใจ | 129 |
| **แผนการสอน บทที่ 8** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบไหลเวียน | 168 |
| **แผนการสอน บทที่ 9** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบย่อยอาหาร | 234 |
| **แผนการสอน บทที่ 10** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบปัสสาวะ | 281 |
| **แผนการสอน บทที่ 11** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบสืบพันธุ์เพศชาย | 319 |
| **แผนการสอน บทที่ 12** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง | 335 |
| **แผนการสอน บทที่ 13** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบประสาท | 356 |
| **แผนการสอน บทที่ 14** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบประสาทอัตโนมัติ | 395 |
| **แผนการสอน บทที่ 15** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา อวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ | 411 |
| **แผนการสอน บทที่ 16** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบต่อไร้ท่อ | 429 |
| **แผนการสอน บทที่ 17** เรื่อง การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย | 477 |


-------------------------------------------

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** บทนำกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา
(Introduction to Anatomy and Physiology)

**จำนวนชั่วโมง** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับคำที่ใช้ในการศึกษากายวิภาคศาสตร์ การจัดระบบของร่างกาย สภาวะแวดล้อมทางกาย การทรงสภาพปกติทางกาย การขนส่งสารผ่านเยื่อเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. นิยามความหมายของคำว่ากายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาได้อย่างถูกต้อง
2. จำแนกสาขาของกายวิภาคศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง
3. เปรียบเทียบความแตกต่างของจุลกายวิภาคศาสตร์และมหกายวิภาคศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายคำศัพท์ที่ใช้ระบุทิศทางได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายคำศัพท์ที่ใช้ระบุระนาบของร่างกายได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายคำศัพท์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายคำศัพท์ที่ใช้ระบุส่วนต่างๆ ของร่างกายได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายคำศัพท์ที่ใช้ระบุช่องว่างของร่างกายได้อย่างถูกต้อง
9. เปรียบเทียบวิธีการศึกษาโครงสร้างของร่างกายด้วยวิธีพิเศษได้อย่างถูกต้อง
10. เรียงลำดับการจัดโครงสร้างของร่างกายมนุษย์ได้อย่างถูกต้อง
11. บอกชื่อระบบและหน้าที่ของระบบต่างๆ ในร่างกายได้อย่างถูกต้อง
12. อธิบายสภาวะแวดล้อมภายในร่างกายและการรักษาให้ร่างกายอยู่ในสภาวะสมดุลได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 1

**************************************

# บทนำกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา

# (Introduction to Anatomy and Physiology)

**ตอนที่ 1 กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy)**

1. สาขากายวิภาคศาสตร์
    1.1 จุลกายวิภาคศาสตร์ (Microscopic anatomy, Fine anatomy)
    1.2 มหกายวิภาคศาสตร์ (Macroscopic anatomy, Gross anatomy)
2. คำที่ใช้ในการศึกษากายวิภาคศาสตร์ (Anatomical Terminology)
    2.1 คำที่ใช้ระบุทิศทาง (Directional terms)
    2.2 ระนาบของร่างกาย (Body planes)
    2.3 คำศัพท์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (Term of movement)
    2.4 คำที่ใช้ระบุส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Body regions)
    2.5 ช่องว่างในร่างกาย (Body cavity)
3. การศึกษาโครงสร้างของร่างกายด้วยวิธีพิเศษ

**ตอนที่ 2 สรีรวิทยา (Physiology)**

1. ลักษณะของสิ่งมีชีวิต
2. การจัดระดับโครงสร้างของร่างกายมนุษย์
3. สภาวะแวดล้อมภายในร่างกาย (Internal environment)

# บทที่ 1
# บทนำกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา
# (Introduction to Anatomy and Physiology)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม.(สรีรวิทยา)

Anatomy (กายวิภาคศาสตร์) เป็นคำที่มาจากภาษากรีก แปลว่า to cut up หมายถึง การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้าง (structure) ของร่างกาย ส่วน Physiology (สรีรวิทยา) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับหน้าที่ (function) ของส่วนต่างๆ ของร่างกาย เนื่องจากโครงสร้างต่างๆ ของร่างกายและหน้าที่การทำงานของโครงสร้างเหล่านั้นมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน ดังนั้นเพื่อที่จะให้เข้าใจถึงร่างกายของเราอย่างแท้จริง จึงจำเป็นต้องศึกษาทั้งสองวิชานี้ควบคู่กันไป โดยศึกษาถึงโครงสร้างก่อน แล้วตามด้วยหน้าที่ของโครงสร้างนั้น ๆ

## ตอนที่ 1
## กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy)

กายวิภาคศาสตร์เป็นวิชาที่เก่าแก่มากที่สุดวิชาหนึ่งทางด้านการแพทย์ วิชานี้เริ่มครั้งแรกในประเทศอียิปต์ โดยฮิปโปเครติสซึ่งเป็นผู้ที่ได้วางรากฐานวิชากายวิภาคศาสตร์ อริสโตเติล แพทย์และนักวิทยาศาสตร์ชาวกรีก เป็นคนแรกที่เรียกการศึกษาร่างกายมนุษย์โดยการชำแหละว่า *anatome* (หมายถึง การตัดหรือการแยกเป็นส่วน ๆ)

### 1. สาขากายวิภาคศาสตร์

สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 สาขาใหญ่ ดังนี้

**1.1 จุลกายวิภาคศาสตร์ (Microscopic anatomy, Fine anatomy)** เป็นการศึกษาโครงสร้างของร่างกายที่มีขนาดเล็ก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ แบ่งเป็น 2 ชนิด

1.1.1 Histology anatomy เป็นการศึกษาโครงสร้างของเนื้อเยื่อต่าง ๆ

1.1.2 Cytology anatomy เป็นการศึกษาโครงสร้างภายในเซลล์

**1.2 มหกายวิภาคศาสตร์ (Macroscopic anatomy, Gross anatomy)** เป็นการศึกษาโครงสร้างของร่างกาย สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า

1.2.1 Surface anatomy เป็นการศึกษารูปร่างและโครงสร้างเฉพาะภายนอก

1.2.2 Regional anatomy เป็นการศึกษาโครงสร้างของร่างกายในแต่ละส่วน เช่น ส่วนศีรษะ (Head) ส่วนคอ (Neck) ส่วนอก (Thorax) ส่วนแขน (Upper limbs) ส่วนขา (lower limbs) เป็นต้น

1.2.3 Systemic anatomy เป็นการศึกษากายวิภาคศาสตร์ตามระบบต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ระบบไหลเวียนเลือด ระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร และระบบขับถ่ายปัสสาวะ เป็นต้น

1.2.4 Pathological anatomy เป็นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับโรค

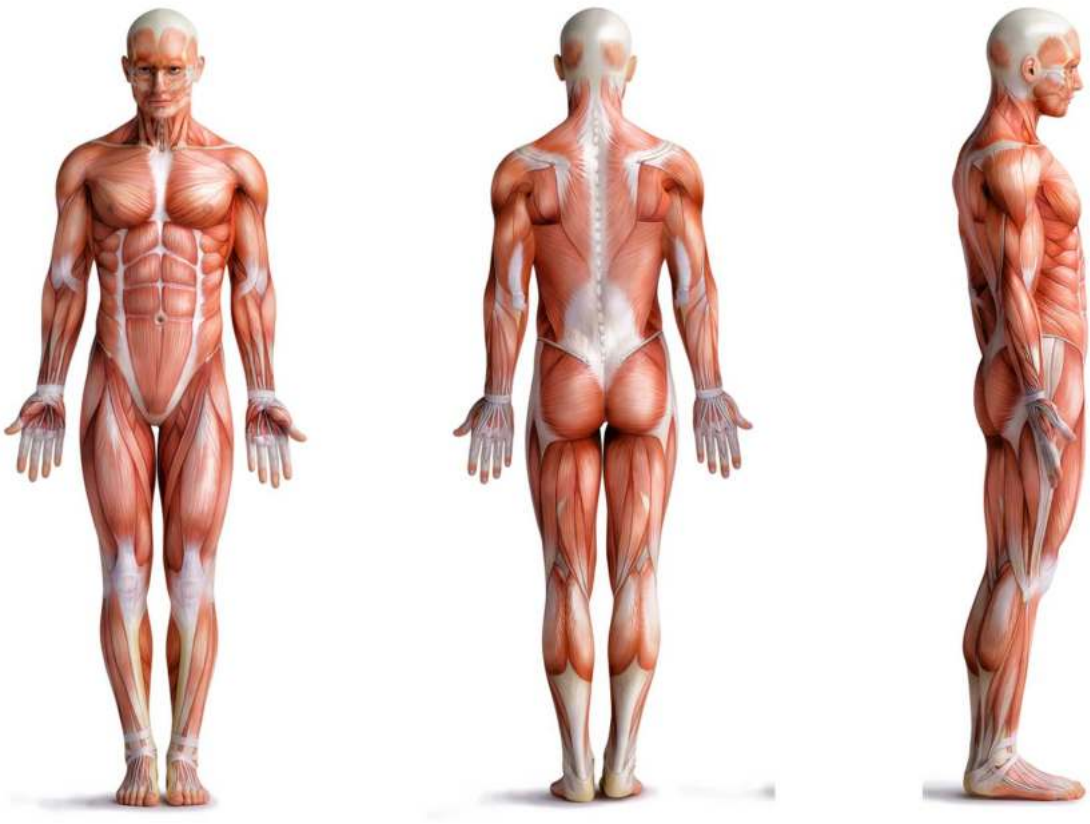
1.2.5 Surgical anatomy เป็นการศึกษากายวิภาคศาสตร์ โดยการเน้นส่วนที่มีความสำคัญทางศัลยกรรม

**1.2.6 Developmental anatomy** เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของร่างกาย ตลอดระยะเวลาที่เริ่มมีการพัฒนาการตั้งแต่เซลล์เดียว จนกระทั่งเจริญเติบโตเป็นผู้ใหญ่

**1.2.7 Radiographic anatomy** เป็นการศึกษาโครงสร้างของร่างกาย โดยใช้วิธีการพิเศษ เช่น การฉายรังสีเอ็กซ์ (X-rays), อัลตราซาวด์ (Ultrasound), CT scanning (Computed tomography scanning) MRI (Magnetic resonance imaging) เป็นต้น

## 2. คำที่ใช้ในการศึกษากายวิภาคศาสตร์ (Anatomical Terminology)

การศึกษาโครงสร้างของร่างกาย นิยมใช้คำที่มีรากศัพท์ที่มาจากภาษาลาตินหรือกรีกซึ่งมีความหมายเฉพาะ คำศัพท์เหล่านี้มีความจำเป็นที่นักเรียนต้องจำและทำความเข้าใจตั้งแต่ต้นซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาต่อไป การเรียนวิชากายวิภาคศาสตร์ ต้องรู้จักท่ามาตรฐานกายวิภาค “**Anatomical Position**” เป็นพื้นฐานก่อน คือ ท่าที่ร่างกายอยู่ในท่ายืนตรง มองไปข้างหน้า แขนขาชิดลำตัว หันฝ่ามือไปข้างหน้า เท้าทั้งสองข้างชิด ตามรูปที่ 1-1



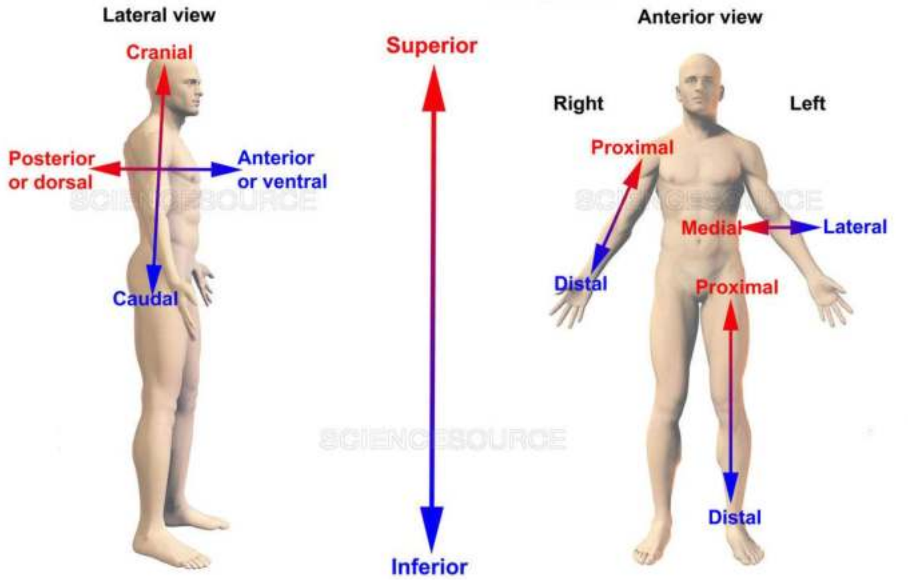
รูปที่ 1-1 แสดงท่าทางกายวิภาค (ที่มา : https://www.scientistcindy.com/anatomical-positions.html)

### 2.1 คำที่ใช้ระบุทิศทาง (Directional terms)

เป็นคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ในตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายและเปรียบเทียบตำแหน่งของโครงสร้างหนึ่งกับโครงสร้างอื่นๆ จากอิริยาบถมาตรฐานทางกายวิภาค

| | | | |
|---|---|---|---|
| => Superior | ข้างบน, สูงกว่า | => Inferior | ข้างล่าง, ต่ำกว่า |
| => Anterior | ด้านหน้า | => Posterior | ด้านหลัง |
| => Ventral | ด้านท้อง | => Dorsal | ด้านหลัง |

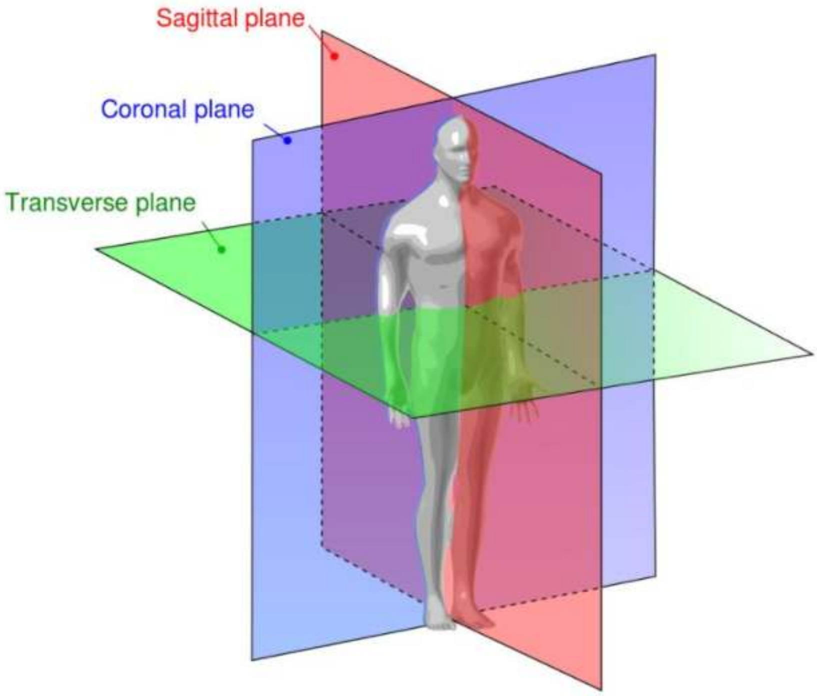
| | | | |
|---|---|---|---|
| => Medial | ใกล้กลาง | => Lateral | ด้านข้าง |
| => Proximal | ใกล้ลำตัว, ส่วนต้น | => Distal | ไกลจากลำตัว, ส่วนปลาย |
| => Superficial | ตื้น | => Deep | ลึก |
| => External | ด้านนอก | => Internal | ด้านใน |
| => Peripheral | ห่างไปจากศูนย์กลาง | => Central | ใกล้ศูนย์กลาง |




รูปที่ 1-2 แสดงภาพที่ใช้ระบุทิศทาง (Directional terms) (ที่มา https://www.sciencephoto.com/)

## 2.2 ระนาบของร่างกาย (Body planes)

เพื่อให้การบ่งบอกบริเวณต่างๆ ให้เฉพาะเจาะจงลงไป ร่างกายสามารถจะแบ่งเป็นระนาบ (plane) ดังนี้




รูปที่ 1-3 แสดงระนาบของร่างกาย (ที่มา https://medictests.com/)

**2.2.1 Midsagittal plane** หมายถึง ระนาบในแนวดิ่งที่แบ่งร่างกายเป็นซีกซ้ายและซีกขวาเท่ากัน ถ้าระนาบในแนวดิ่งนี้แบ่งร่างกายเป็น 2 ซีก ไม่เท่ากัน เรียกว่า **parasagittal plane**

**2.2.2 Frontal plane (Coronal plane)** หมายถึง ระนาบที่ตั้งฉากกับ midsagittal plane แบ่งร่างกายออกเป็นซีกด้านหน้าและซีกด้านหลัง

**2.2.3 Transverse plane** หมายถึง ระนาบที่ตัดขวางร่างกายออกเป็นส่วนบน และส่วนล่าง

**2.2.4 Obligue plane** หมายถึง ระนาบที่ตัดร่างกายออกเป็นแนวเฉียง

### 2.3 คำศัพท์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (Term of movement)

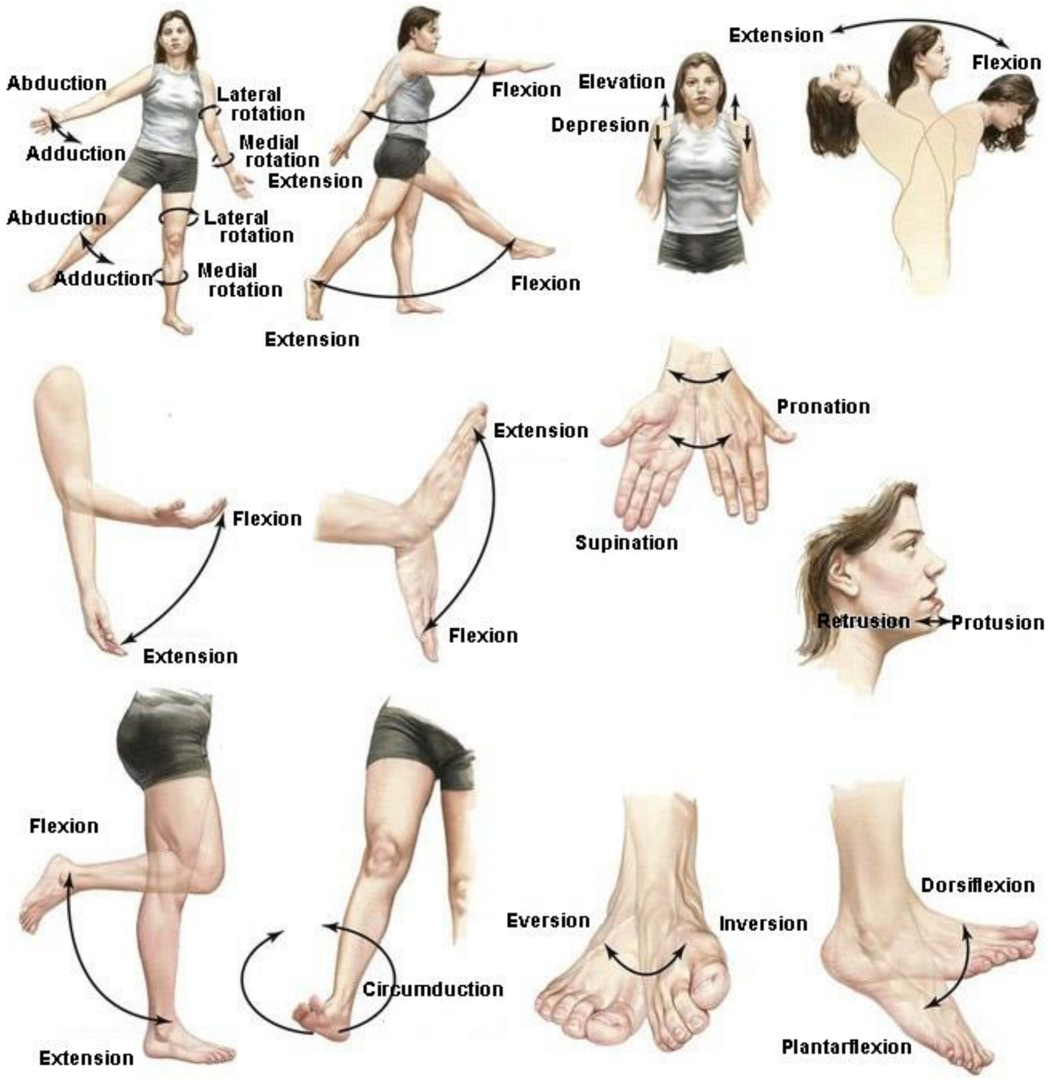
=> Flexion หมายถึง การงอเข้า เมื่อส่วนนั้นเหยียดอยู่ก่อน

=> Extension หมายถึง การเหยียดออก เมื่อส่วนนั้นงออยู่ก่อน

=> Abduction หมายถึง การเคลื่อนไหวออกไปจากส่วนกลาง เช่น การกางแขน หรือกางนิ้วมือ

=> Adduction หมายถึง การเคลื่อนไหวเข้ามาใกล้ส่วนกลาง เช่น การหุบแขนหรือขา

=> Inversion หมายถึง การหมุนข้อเท้าเข้าหาแนวกลางตัว




รูปที่ 1-4 แสดงท่าทางเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว

=> **Eversion** หมายถึง การหมุนข้อเท้าออกจากแนวกลางตัว

=> **Circumduction** หมายถึง การหมุน หรือการแกว่งแขนขาให้เป็นวง

=> **Pronation** หมายถึง การคว่ำ (นอนคว่ำ หรือคว่ำฝ่ามือ)

=> **Supination** หมายถึง การหงาย (นอนหงาย หรือหงายฝ่ามือ)

=> **Plantar flexion** หมายถึง การกระดกฝ่าเท้าลง

=> **Dorsiflexion** หมายถึง การกระดกฝ่าเท้าขึ้น

## 2.4 คำที่ใช้ระบุส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Body regions)

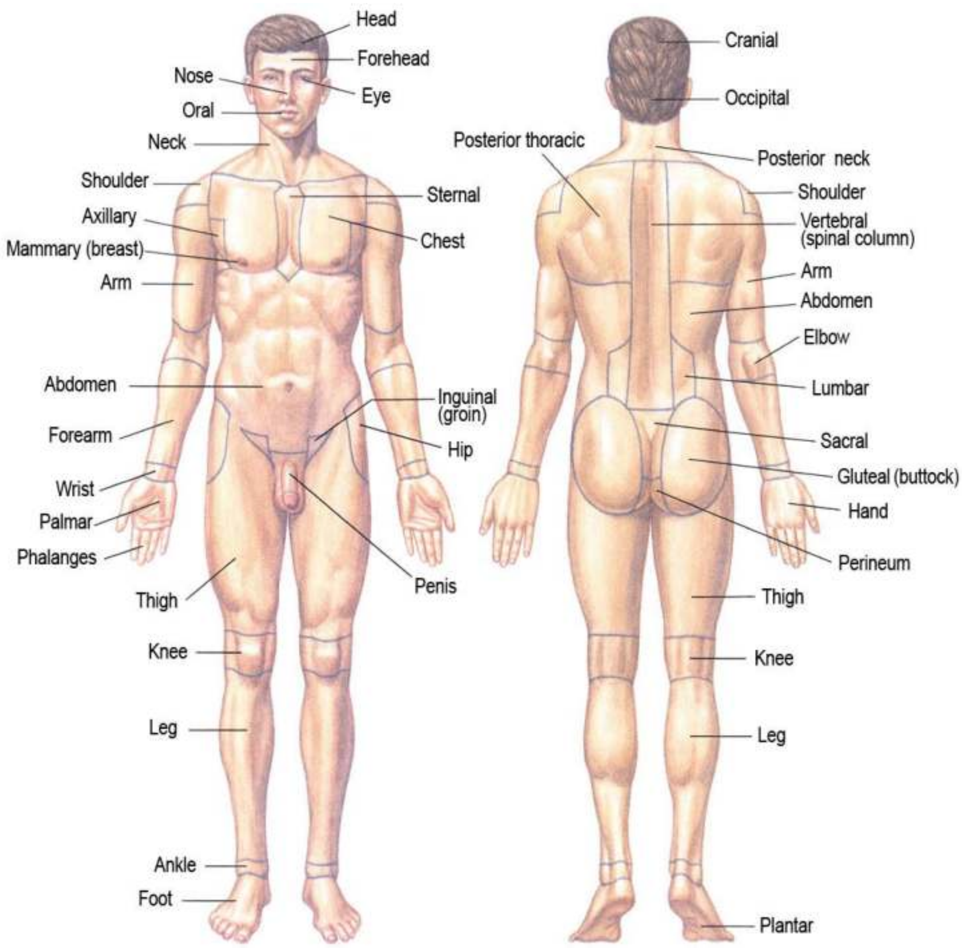
ร่างกายแบ่งออกเป็น ได้ 2 ส่วน (regions) ได้แก่

**2.4.1 Axial part** (ส่วนแกน) ประกอบด้วย ศีรษะ (head) คอ (neck) อก (thorax) ท้องและเชิงกราน (abdomen and pelvis)

**2.4.2 Appendicular part** (ส่วนรยางค์) ประกอบด้วย

**1) Upper extremities หรือ Upper limbs (รยางค์บน)** ได้แก่ ไหล่ (Shoulder) ต้นแขน (Arm) ปลายแขน (Forearm) ข้อมือ (Wrist) มือ (Hand)

**2) Lower extremities หรือ Lower limbs (รยางค์ล่าง)** ได้แก่ ต้นขา (Thigh) ขา (Leg) ข้อเท้า (Ankle) เท้า (Feet)




รูปที่ 1-5 แสดงส่วนต่างๆ ของร่างกาย (ที่มา https://biology-forums.com/)

## 2.5 ช่องว่างในร่างกาย (Body cavity)

ภายในร่างกายมีช่องว่าง (cavity) เป็นทั้งที่อยู่และเกราะป้องกันอวัยวะภายใน แบ่งออกเป็น 2 ช่อง ว่างใหญ่ๆ ได้แก่ Dorsal cavity (posterior cavity) และ Ventral cavity (anterior cavity)

**2.5.1 Dorsal cavity** หมายถึง ช่องว่างที่อยู่ด้านหลังของร่างกาย ประกอบด้วย

1) Cranial cavity เป็นที่อยู่และเกราะป้องกันสมอง

2) Spinal cavity เป็นที่อยู่และเกราะป้องกันไขสันหลัง

**2.5.2 Ventral cavity** หมายถึง เป็นช่องโพรงที่อยู่ทางด้านหน้า มีขนาดใหญ่กว่า Dorsal cavity แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยมีกระบังลม เป็นตัวกั้นช่องโพรงทั้งสองออกจากกัน

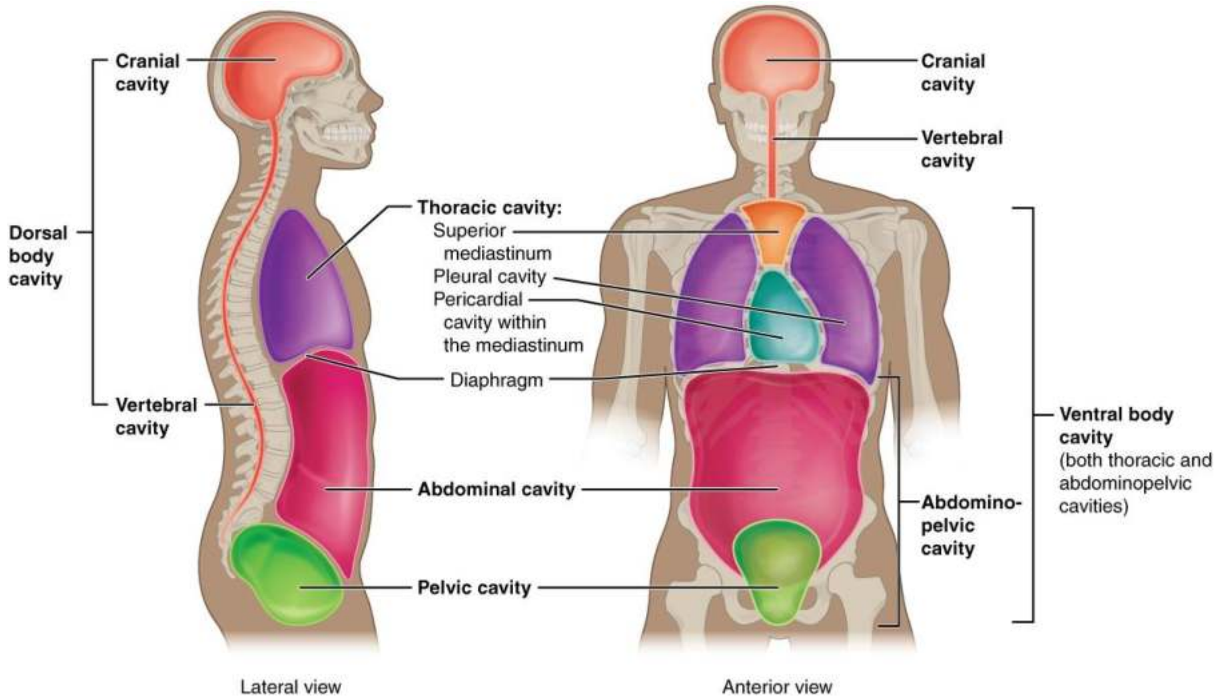
**1) Thoracic cavity** หมายถึง ช่องอก อยู่ด้านบน มีกระดูกซี่โครงเป็นเกราะป้องกัน และแบ่งเป็นช่องย่อยๆ โดยแผ่นเยื่อบางๆ ออกเป็น ช่องรอบหัวใจ (pericardial cavity) และช่องปอด (pleural cavity) ข้างซ้ายและขวา และ mediastinum (เนื้อกลางอก) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อแบ่งปอดออกเป็น 2 ข้าง ใน mediastinum ประกอบด้วย หัวใจ หลอดลมใหญ่ หลอดลม หลอดอาหาร ต่อมไทมัส และ pericardial cavity

**2) Abdominopelvic cavity (peritoneal cavity)** หมายถึง ช่องท้องและเชิงกราน อยู่ด้านล่าง ใต้ต่อกระบังลม แบ่งเป็น 2 ช่องใหญ่ โดยเส้นสมมติที่ลากจาก sacral promontory ไปยัง pubic symphysis ได้แก่

=> **abdominal cavity** (ช่องท้อง) ประกอบด้วย ตับ ถุงน้ำดี กระเพาะอาหาร ตับอ่อน ม้าม ลำไส้

=> **pelvic cavity** (ช่องเชิงกราน) ภายในประกอบด้วย กระเพาะปัสสาวะ ลำไส้ตรง อวัยวะสืบพันธ์เพศหญิงและชาย

ในช่อง abdominopelvic cavity จะมีแผ่นบางๆ บุอยู่ที่ผนังช่องท้อง และบุที่อวัยวะภายในบางส่วน หรือห่อหุ้มทั้งหมด ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นเยื่อบุช่องท้อง เรียกว่า peritoneal cavity




รูปที่ 1-6 แสดงช่องโพรงที่อยู่ทางด้านหน้าและด้านหลัง

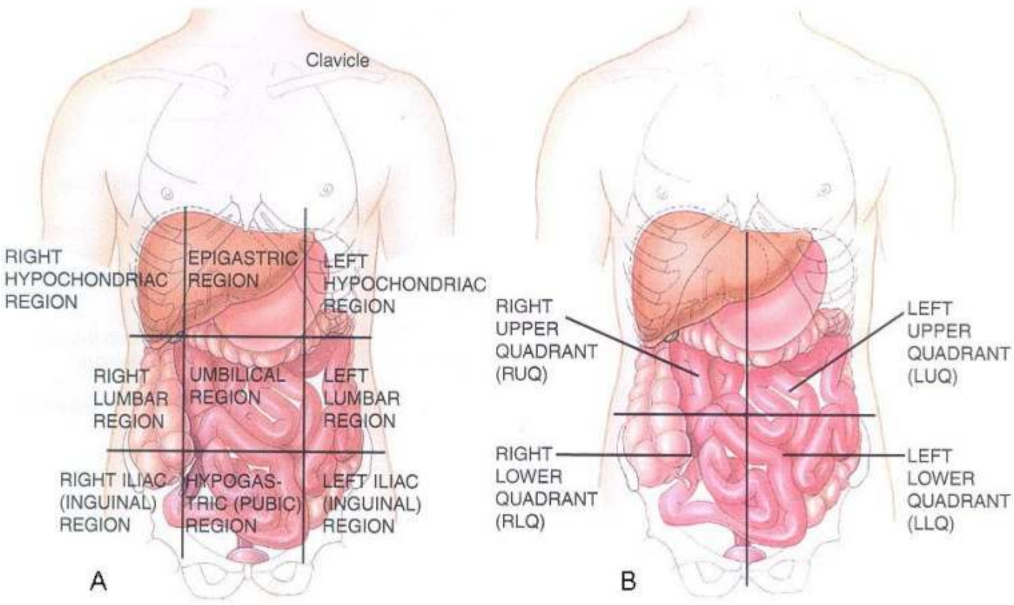
**การแบ่งส่วนท้อง** แบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้

**1. การแบ่งช่องท้องเป็น 9 ส่วน** โดยการลากเส้นสมมติตั้งฉาก 2 เส้น จากจุดกึ่งกลางของไหปลาร้า (midclavicular line) ทั้ง 2 ข้างซ้ายขวา ส่วนเส้นแนวนอนเส้นบนให้ลากเส้นตามแนวนอน จากขอบล่างสุดของกระดูกซี่โครงด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง เส้นตามแนวนอนอีกเส้นล่างลากจากขอบบนของกระดูกสะโพกด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ทำให้แบ่งช่องท้องเป็น 9 ส่วน ประกอบด้วย

| | |
|---|---|
| 1) Right hypochondriac region | 2) Left hypochondriac region |
| 3) Epigastric region | 4) Umbilical region |
| 5) Right lumbar region | 6) Left lumbar region |
| 7) Right iliac (inguinal) region | 8) Left iliac (inguinal) region |
| 9) Hypogastric (pubic) region | |

**2. การแบ่งช่องท้องเป็น 4 ส่วน** อาศัยการลากเส้นสมมติในแนวตั้งและแนวนอนตัดกันที่สะดือ แบ่งช่องท้องเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย

| | |
|---|---|
| 1) Right upper quadrant (RUQ) | ช่องท้องบนขวา |
| 2) Left upper quadrant (LUQ) | ช่องท้องบนซ้าย |
| 3) Right lower quadrant (RLQ) | ช่องท้องล่างขวา |
| 4) Left lower quadrant (LLQ) | ช่องท้องล่างซ้าย |



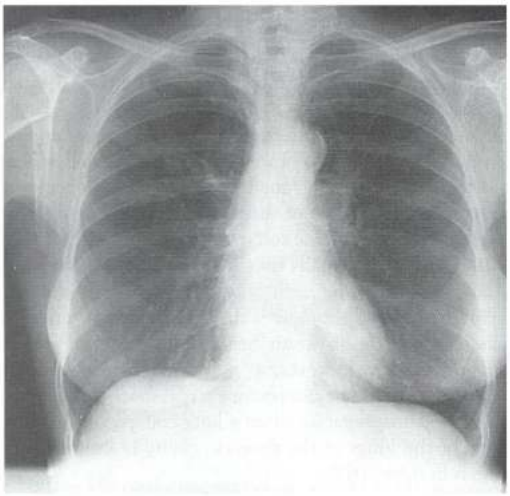

รูปที่ 1-7 แสดงการแบ่งส่วนของหน้าท้องเป็น 9 region (A) หรือ 4 quadrant (B)

## 3. การศึกษาโครงสร้างของร่างกายด้วยวิธีพิเศษ

### 3.1 การฉายรังสีเอกซ์ (X-rays)

การฉายรังสีเอกซ์เริ่มต้นเมื่อปี 1895 โดยการค้นพบของชาวเยอรมันชื่อ Rontgen วิธีนี้ยังเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากและประหยัดค่าใช้จ่าย โดยการฉายรังสีเอกซ์ผ่านโครงสร้างของร่างกายลงไปบนแผ่นฟิล์ม ทำให้เห็นเป็นเงาภาพปรากฏขึ้น

รังสีเอกซ์เป็นรังสีที่มีพลังงานสูงสามารถผ่านเนื้อเยื่อร่างกายได้แต่ความหนาแน่นของเนื้อเยื่อในอวัยวะ ต่างๆ ไม่เท่ากัน เนื้อเยื่อใดที่ยอมให้รังสีผ่านได้น้อยกว่าจะเห็นเป็นสีที่ขาวกว่าบนแผ่นฟิล์ม โดยปกติแล้วภาพขาวดำที่ปรากฏอยู่บนแผ่นฟิล์มมีอยู่ 5 ระดับ เรียงลำดับจากดำไปขาว คือ อากาศ, ไขมัน, เนื้อเยื่ออ่อนและน้ำ, แคลเซี่ยม และโลหะ ตามลำดับ



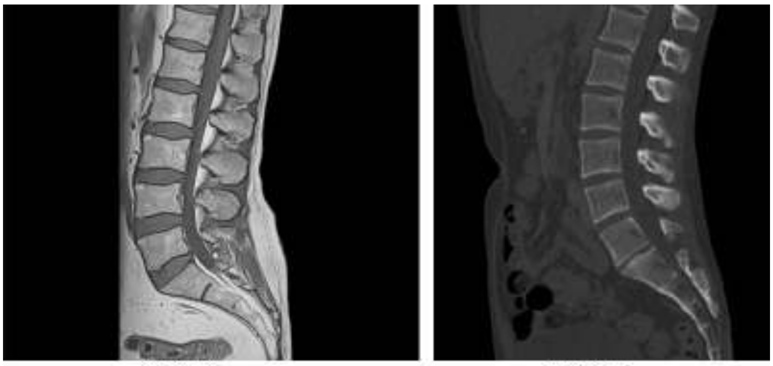
รูปที่ 1-8 แสดงตัวอย่างภาพเอกซเรย์ทรวงอก (Chest X-rays, CXR) จะเห็นโครงสร้างของอวัยวะต่าง ๆ เช่น ปอด หัวใจ ซี่โครง ไหปลาร้า เป็นต้น

**3.2 เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Tomography, CT)**

เอกซเรย์คอมพิวเตอร์เป็นการใช้รังสีเอ็กซ์และหลักฟิสิกส์เดียวกับการเอกซเรย์ทั่วๆ ไป สามารถตรวจได้ทุกส่วนของร่างกายให้ภาพในแนวระนาบตัดขวาง จึงไม่เกิดภาพซ้อนของอวัยวะและสามารถเห็นความแตกต่างของเนื้อเยื่อได้ดีกว่าเอกซเรย์ธรรมดามาก อาจมีการใช้สารทึบแสงร่วมด้วย ทำให้ได้ภาพที่แสดงรายละเอียดชัดเจนมากขึ้น ข้อเสียของเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ คือ ผู้ตรวจได้รับรังสีเอ็กซ์บ้างเล็กน้อย ดังนั้น จึงไม่ควรตรวจในหญิงตั้งครรภ์ใน 3 เดือนแรก ค่าใช้จ่ายแพง หรืออาจแพ้สารทึบแสง

**3.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imaging, MRI)**

หลักการของ MRI คือให้ส่วนของร่างกายอยู่ในสนามแม่เหล็กความแรงสูง ซึ่งจะไปกระตุ้นโปรตอนที่มีอยู่ในร่างกายให้เกิดการแกว่งและสั่น (resonance) และมีการปล่อยพลังงานออกมา โปรตอนของสารแต่ละชนิดจะตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กต่างกัน พลังงานที่ปล่อยออกมาสามารถตรวจบันทึกได้ แล้วนำมาสร้างภาพด้วยคอมพิวเตอร์




รูปที่ 1-9 เปรียบเทียบการตรวจกระดูกสันหลังส่วนเอว ด้วยวิธี MRI (A) และ CT Scan (B)

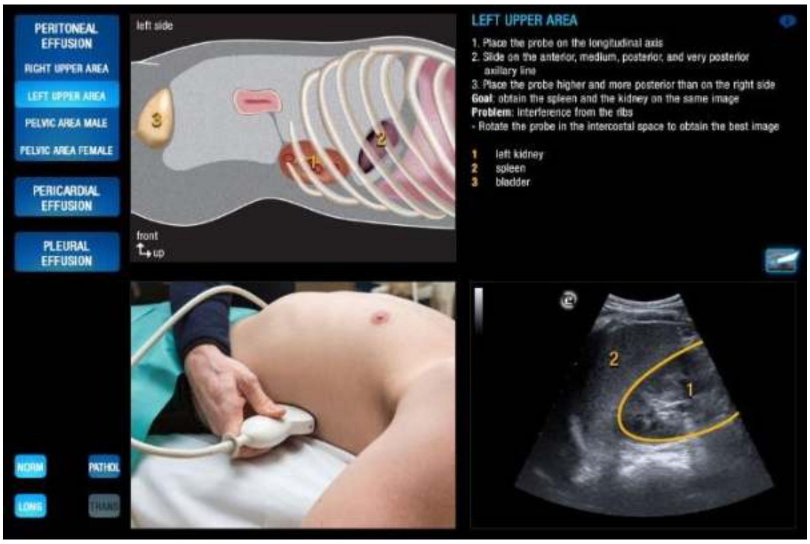
การทำ MRI มีค่าใช้จ่ายสูงมาก แต่ก็มีประโยชน์ในการตรวจอวัยวะภายใน เช่น สมอง ข้อจำกัดของ MRI คือ ไม่สามารถใช้วิธีการนี้กับคนไข้ที่มีโลหะหรือมีเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าฝังอยู่ในตัว เช่น โลหะที่ใช้ดามกระดูก ผู้ป่วยที่ใช้เครื่องกระตุ้นหัวใจด้วยไฟฟ้า และไม่แนะนำให้ใช้กับหญิงตั้งครรภ์

**3.4 อัลตราซาวด์ (Ultrasound หรือ Ultrasonography; U/S)**

การตรวจด้วยอัลตราซาวด์ อาศัยหลักการส่งคลื่นเสียงความถี่สูงตั้งแต่ 1-20 MHz ผ่านหัวตรวจที่เรียกว่า transducer ผ่านผิวหนังเข้าไปยังเนื้อเยื่อภายในร่างกาย ซึ่งแต่ละเนื้อเยื่อจะมีการสะท้อนของเสียงที่ต่างกัน (acoustic impedance) อาศัยหัวตรวจอันเดิมรับเสียงสะท้อนกลับ แล้วนำพลังงานมาสร้างเป็นภาพ ส่วนการที่คลื่นเสียงจะทะลุได้ลึกเท่าใดและมีความละเอียดของภาพมากแค่ไหน ก็ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นเสียง

อัลตราซาวด์เป็นการตรวจแบบ real time รวดเร็ว ไม่ต้องเจ็บตัว ไม่มีปัญหาเรื่องรังสี ตัวเครื่องราคาไม่แพง ค่าใช้จ่ายในการตรวจน้อย เครื่องมีขนาดเล็กเคลื่อนที่ไปที่ใดก็ได้ ให้ภาพได้ทุกแนวและสามารถเลื่อนหัวตรวจไปที่ใดก็ได้ แต่ทั้งนี้ความถูกต้องแม่นยำอาศัยความชำนาญของแพทย์ผู้ตรวจเป็นสำคัญ แต่ก็มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถตรวจผ่านกระดูกผู้ใหญ่และอากาศได้ เช่น กะโหลกศีรษะ ปอด ลำไส้ที่มีอากาศ ลมในช่องท้อง การทำอัลตราซาวด์ นิยมใช้ศึกษาอวัยวะภายในช่องท้องและช่องเชิงกราน การตรวจการไหลเวียนเลือดของหลอดเลือด (doppler ultrasound) การตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (echocardiography) เป็นต้น

ในด้านการแพทย์ฉุกเฉิน มีการทำอัลตราซาวด์ในผู้ป่วยที่ได้รับอุบัติเหตุ สามารถตรวจหาความผิดปกติได้รวดเร็ว เช่น เลือดออกในช่องท้อง ในเยื่อหุ้มหัวใจ ในช่องปอด เรียกการทำอัลตราซาวด์นี้ **FAST** (The Focused Assessment with Sonography in Trauma)




รูปที่ 1-10 การตรวจ FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) เป็นการตรวจโดยอาศัยหลักการของอัลตราซาวด์ เพื่อตรวจดูพยาธิสภาพภายในร่างกาย

************************************

# ตอนที่ 2
# สรีรวิทยา (Physiology)

สรีรวิทยาเป็นการศึกษาถึงหน้าที่การทำงานของส่วนต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งโดยทั่วไปมักจัดเป็นระบบ การศึกษาสรีรวิทยาครอบคลุมตั้งแต่การศึกษาระดับอะตอม โมเลกุล ไปจนถึงการที่สิ่งมีชีวิตอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม สรีรวิทยาแบ่งเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

=> **Cell physiology** เป็นการศึกษาหน้าที่การทำงานของเซลล์ ซึ่งจะศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นไปภายในเซลล์ รวมทั้งกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นไปภายในเซลล์

=> **Special physiology** เป็นการศึกษาหน้าที่การทำงานของอวัยวะบางอย่างโดยเฉพาะ เช่น cardiophysiology เป็นการศึกษาหน้าที่การทำงานของหัวใจ

=> **Systemic physiology** เป็นการศึกษาหน้าที่การทำงานของระบบใดระบบหนึ่งของร่างกายโดยเฉพาะ เช่น neurophysiology เป็นการศึกษาหน้าที่การทำงานของระบบประสาท

=> **Pathological physiology** เป็นการศึกษากลไกการทำงานที่ผิดปกติของอวัยวะหรือระบบหนึ่งระบบใดโดยเฉพาะ

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสรีรวิทยาที่เน้นเฉพาะบางเรื่อง ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกหลายระบบในร่างกาย เช่น exercise physiology เป็นการศึกษาการทำงานของระบบต่างๆ ในขณะออกกำลังกาย

## 2.1 การจัดระดับโครงสร้างของร่างกายมนุษย์ (Levels of structural organization of the human body)

การจัดและรวบรวม (organization) เป็นลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิต ร่างกายคนเรามีการจัดและรวบรวมโครงสร้างในระดับต่างๆ ดังนี้

### 2.1.1 ระดับเคมี (Chemical level of organization)

การจัดและรวบรวมโครงสร้างในระดับเคมี เป็นการจัดและรวบรวมโครงสร้างในระดับต่ำที่สุด ร่างกาย มนุษย์ประกอบด้วยสารเคมีต่างๆ สารเคมีเหล่านี้ประกอบด้วยอะตอม ซึ่งรวมกันเป็นโมเลกุล สารเคมีเหล่านี้มีทั้งสารอินทรีและอนินทรี ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต

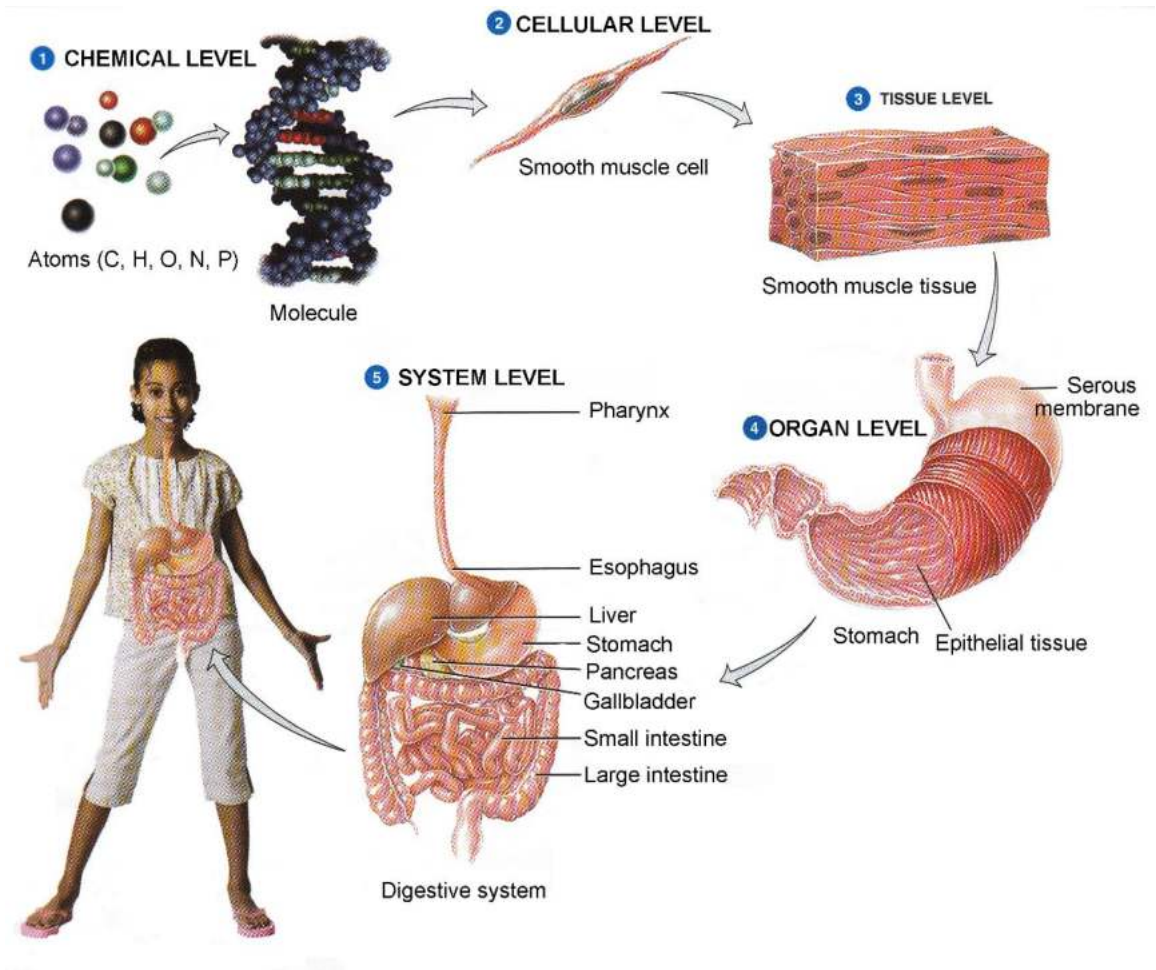
### 2.1.2 ระดับเซลล์ (Cellular level of organization)

เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานที่สำคัญที่สุดของสิ่งมีชีวิต มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเซลล์นั้นๆ แต่ทุกเซลล์จะมี organelle ที่มีหน้าที่เฉพาะอย่าง เช่น mitochondria ทำหน้าที่สร้างพลังงาน หรือ ribosome ทำหน้าที่สร้างโปรตีน เป็นต้น

### 2.1.3 ระดับเนื้อเยื่อ (Tissue level of organization)

เนื้อเยื่อประกอบด้วยเซลล์ที่คล้ายคลึงมาอยู่รวมกัน เพื่อทำหน้าที่เฉพาะอย่าง ในร่างกายมนุษย์มีเนื้อเยื่อ 4 ชนิด ได้แก่

1) **Epithelial tissue (เนื้อเยื่อบุผิว)** พบได้ที่ชั้นนอกสุดของผิวหนัง และบุอยู่ในอวัยวะต่าง ๆ หลอดเลือด และช่องโพรงของร่างกาย มีหน้าที่สำคัญในการป้องกันและในการสร้างสารคัดหลั่ง




รูปที่ 1-11 แสดงการจัดระดับโครงสร้างของร่างกายมนุษย์

**2) Connective tissue (เนื้อยึดต่อ)** เนื้อเยื่อชนิดนี้จะเชื่อมต่อและค้ำจุนส่วนต่างๆ ของร่างกาย พบได้ในผิวหนังและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอ็นและกระดูก เนื้อยึดต่อจะประกอบด้วยเส้นใย ซึ่งประกอบเป็นร่างแหที่แข็งแรง กระจายไปทั่วทุกส่วนของร่างกาย

**3) Muscular tissue (เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ)** เป็นเนื้อเยื่อที่มีความสามารถในการหดตัวได้ ก่อให้เกิดการเคลื่อนไหว ได้แก่ กล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle) กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) และกล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)

**4) Nervous tissue (เนื้อเยื่อประสาท)** พบได้ที่สมอง ไขสันหลัง และเส้นใยประสาท ซึ่งเนื้อเยื่อประสาทสามารถส่งส่งสัญญาณหรือข้อมูลไปยังเนื้อเยื่อชนิดเดียวกันหรือเนื้อเยื่อชนิดอื่นได้

**2.1.4 ระดับอวัยวะ (Organ level of organization)**

เป็นการรวมตัวของเนื้อเยื่อตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้น ทำให้เกิดเป็นอวัยวะเพื่อทำหน้าที่อย่างหนึ่งอย่างใดโดยเฉพาะ เช่น กระเพาะอาหาร เป็นอวัยวะที่มีเนื้อเยื่อหลายชนิดมารวมกัน เช่น เนื้อบุผิว (epithelial tissue) บุอยู่ที่ผนังภายใน มีเนื้อกล้ามเนื้อ (muscular tissue) ทำหน้าที่คลุกเคล้าอาหาร มีเนื้อประสาททำหน้าที่ส่งสัญญาณประสาททำให้เกิดการบีบตัว เป็นต้น

#### 2.1.5 ระดับระบบ (System level organization)

เป็นกลุ่มอวัยวะมาร่วมกันทำหน้าที่ใหญ่ ๆ เช่น ระบบปัสสาวะ ประกอบด้วย ไต ท่อไต และกระเพาะปัสสาวะ ในร่างกายมนุษย์นิยมแบ่งเป็นระบบ ดังนี้

| | |
|---|---|
| Integumentary system | ระบบห่อหุ้มร่างกาย ประกอบด้วย ผิวหนัง และโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงมาจากผิวหนัง |
| Skeletal system | ระบบโครงร่าง ประกอบด้วย กระดูก กระดูกอ่อน ข้อต่อต่างๆ |
| Muscular system | ระบบกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย กล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ รวมทั้งเส้นเอ็น (tendon) |
| Nervous system | ระบบประสาท ประกอบด้วยประสาทส่วนกลาง ได้แก่ สมองและไขสันหลัง ระบบประสาทส่วนปลาย ได้แก่ เส้นประสาทสมอง เส้นประสาทไขสันหลัง และระบบประสาทอัตโนมัติ |
| Endocrine system | ระบบต่อมไร้ท่อ ประกอบด้วย ต่อมไร้ท่อต่างๆ ซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกันไป |
| Cardiovascular system | ระบบหัวใจ และหลอดเลือด ประกอบด้วย หัวใจ เลือด หลอดเลือด ทำหน้าที่ปั๊มเลือดไปสู่เนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย |
| Lymphatic system | ระบบน้ำเหลือง ประกอบด้วย ม้าม ทอนซิล ต่อมไทมัส และหลอดน้ำเหลือง ทำหน้าที่ป้องกันร่างกายจากเชื้อโรค ต่างๆ |
| Respiratory system | ระบบหายใจ ประกอบด้วย จมูก คอหอย กล่องเสียง หลอดลม รวมทั้ง ปอดและกล้ามเนื้อที่ช่วยหายใจ |
| Digestive system | ระบบย่อยอาหาร ประกอบด้วย ฟัน ลิ้น ต่อมน้ำลาย หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ ตับ ถุงน้ำดี ตับอ่อน |
| Urinary system | ระบบปัสสาวะ ประกอบด้วย ไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะ |
| Reproductive system | ระบบสืบพันธุ์ ประกอบด้วย ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง และเพศชาย |

ในบางตำรา อาจรวมระบบ Urinary system และระบบ Reproductive system เข้าด้วยกัน เรียกว่า Urogenital system

## 2. สภาวะแวดล้อมภายในร่างกาย (Internal environment)

ร่างกายมนุษย์มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 60% ของน้ำหนักตัว โดยแบ่งเป็นน้ำที่ประกอบเป็นของเหลวในเซลล์ (Intracellular fluid) และของเหลวนอกเซลล์ (Extracellular fluid) ของเหลวนอกเซลล์ประกอบด้วยส่วนที่อยู่ในหลอดเลือด คือ พลาสมา อยู่ในหลอดน้ำเหลือง และของเหลวระหว่างเซลล์ (interstitial fluid) ซึ่งส่วนหลังนี้มีประมาณ 80% ของน้ำนอกเซลล์ทั้งหมด โดยการทำงานของเซลล์จะมีผลให้เกิดความแตกต่างในส่วนประกอบทางเคมีของน้ำในเซลล์และนอกเซลล์ ของเหลวนอกเซลล์ในส่วนพลาสมาและของเหลวระหว่างเซลล์จะซึมผ่านสู่กันได้ โดยผ่านทางผนังหลอดเลือดฝอย ของเหลวนอกเซลล์สองส่วนนี้จึงมีความแตกต่างกันเฉพาะปริมาณโปรตีน ซึ่งมีในพลาสมามากกว่า เซลล์ในร่างกายทั้งหมดจึงถือว่าถูกล้อมรอบด้วยของเหลวนอกเซลล์ซึ่งมีส่วนประกอบเดียวกัน สภาวะแวดล้อมภายในของเซลล์ในร่างกายทั้งหมดจึงได้แก่ของเหลวนอกเซลล์

เซลล์แต่ละเซลล์นอกจากจะทำงานเพื่อรักษาสภาพและหน้าที่ของตนเองแล้วยังมีส่วนร่วมในกระบวนการ homeostasis คือช่วยรักษาสภาวะแวดล้อมภายในร่างกายให้อยู่ในสมดุลอีกด้วย ระบบต่าง ๆ ในร่างกายจะร่วมกันทำหน้าที่รักษาความคงที่ของสภาวะในร่างกาย

สารชนิดต่าง ๆ ในร่างกายจะถูกรักษาให้มีช่วงระดับปกติ (normal range) อยู่ในช่วงหนึ่งซึ่งพอเหมาะกับการทำงานของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ (optimal range) สมดุลของสารเคมีในร่างกายจะขึ้นกับปริมาณที่ร่างกายได้รับและที่ขับออก ถ้าได้รับมากขึ้นและมากกว่าเสียออกจากร่างกายจะเกิดการสะสมของสารนั้นในร่างกาย (positive balance) เมื่อร่างกายปรับให้มีการขับสารนั้นออกมากขึ้นจนเท่ากับปริมาณที่ได้รับจะเกิดภาวะดุล (stable balance) ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าดุลในระยะแรกก่อนที่จะมีการได้รับสารเพิ่มขึ้น ตรงข้ามถ้าได้รับสารเข้าน้อยกว่าที่ร่างกายขับออก จะเกิดการลดลงของสารนั้นในร่างกาย (negative balance)

**Biological rhythm**

ปรากฏการณ์หลายชนิดในร่างกายจะเกิดเป็นวงจร จังหวะของวงจรจะถูกกำหนดโดยเซลล์ประสาทในสมองกลุ่มหนึ่ง เรียกว่า biological clock วงจรที่มีความยาวประมาณ 24 ชั่วโมง เรียกว่า circadian rhythm เช่น วงจรการหลับตื่น (sleep-wake cycle) ระดับอุณหภูมิกาย ระดับ growth hormone และ คอร์ติซอล ในเลือด หรือปริมาณโปตัสเซี่ยมที่ขับทางปัสสาวะในแต่ละวัน เป็นต้น อาจเรียกการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในแต่ละวันว่ามี diurnal rhythm เช่น cortisol ซึ่งหลั่งมากที่สุดในตอนตื่นเช้าและต่ำสุดตอนเย็น วงจรบางชนิดยาวประมาณ 1 เดือน เช่น วงจรประจำเดือน

Biological rhythm นี้มีความเกี่ยวข้องกับ homeostasis ของร่างกายและจะเป็นสิ่งหนึ่งซึ่งช่วยให้ร่างกายปรับตัวได้ทันทีหรือก่อนที่จะมีการเสียสมดุลเกิดขึ้น ตัวอย่าง เช่น การขับโปตัสเซี่ยมทางปัสสาวะจะเกิดในตอนกลางวันมากกว่าตอนกลางคืนซึ่งไม่มีการรับประทานอาหาร เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายนอก เช่น ความมืดความสว่าง (light-dark cycle) จะมีอิทธิพลทำให้จังหวะเวลาของวงจรเปลี่ยนแปลงได้ แต่ภายในขอบเขตจำกัด เช่น วงจรการตื่นการหลับจะไม่สามารถปรับให้สั้นกว่า 23 ชั่วโมง หรือยาวกว่า 27 ชั่วโมงได้ ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของ light-dark cycle น้อยหรือมากไปจากเดิมเพียงใด การเปลี่ยนเวลายังทำให้จังหวะเวลาของวงจรที่ร่างกายกำหนดไว้เดิมถูกกำหนดใหม่ได้ เช่น เมื่อคนทางซีกโลกหนึ่งย้ายไปอยู่อีกซีกโลกหนึ่ง circadian rhythm ชนิดต่าง ๆ ของคนผู้นี้จะค่อย ๆ เปลี่ยนไปตามเวลาของที่อยู่ใหม่ การปรับเปลี่ยนของนิวรอนแต่ละกลุ่มซึ่งควบคุมจังหวะต่าง ๆ ในร่างกายกินเวลาไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดความไม่สอดคล้องซึ่งกันและกันในการทำงานของนิวรอนเหล่านั้น อาจเป็นสาเหตุให้เกิดอาการผิดปกติบางอย่างของร่างกาย เช่น นอนหลับยาก มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร อ่อนเพลีย เป็นต้น เรียกกลุ่มอาการเหล่านี้ว่า jet lag

**Acclimatization**

ถ้าร่างกายต้องเผชิญกับภาวะเปลี่ยนแปลงภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความสูงของที่อยู่อาศัย จะทำให้เกิดความเครียด (stress) ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ร่างกายจะพยายามปรับตัว ให้มีการตอบสนองดีขึ้นกับภาวะ stress นั้น ๆ เรียกการปรับตัวนี้ว่า acclimatization ตัวอย่างคนซึ่งอยู่ในประเทศหนาว ถ้าย้ายมาอยู่ในประเทศที่มีอากาศร้อน กลไกการปรับตัวเพื่อระบายความร้อนจากร่างกาย เช่น การขับเหงื่อ จะยังเกิดไม่ดีในระยะแรก ทำให้อุณหภูมิกายค่อนข้างสูงกว่าที่เคย แต่ในระยะประมาณหนึ่งสัปดาห์ต่อมา จะพบว่ามีการขับเหงื่อเกิดมากขึ้น และอุณหภูมิกายจะไม่เพิ่มเหมือนในระยะต้น ๆ อย่างไรก็ตามถ้ากลับไปอยู่ในที่อากาศหนาวเช่นเดิมการขับเหงื่อจะกลับน้อยลงเพื่อเก็บความร้อนไว้ในร่างกายแสดงว่ากระบวนการ acclimatization นี้ เปลี่ยนกลับไปมาได้ (reversible)

**Aging (ความแก่)**

ผู้สูงอายุ จะมีการตายของเซลล์มากขึ้น เซลล์แบ่งตัวลดลง เซลล์ที่ทำงานผิดปกติมีมากขึ้น ดังนั้นถึงแม้ว่าผู้สูงอายุนั้นจะปราศจากโรคภัยซึ่งมีผลต่อการสูญเสียหน้าที่ของเซลล์ แต่โดยภาวะของความสูงอายุเอง ความสามารถในการปรับตัวของร่างกายต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะแวดล้อม หรือ homeostasis จะเสื่อมถอยลงตามลำดับ

**การควบคุมสภาวะสมดุลในร่างกาย (Homeostasis)**

ระบบควบคุมสมดุลภายในร่างกาย (Homeostatic control system) ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ตัวรับรู้ (detector or sensor) ซึ่งจะรับรู้การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายนอกหรือภายในร่างกาย ที่แตกต่างไปจากภาวะปกติ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงถือว่าเป็นตัวกระตุ้น ตัวรับรู้จะส่งสัญญาณไปศูนย์ประสานงานส่วนกลาง ศูนย์เหล่านี้จะรับสัญญาณจากตัวรับรู้หลายแห่งได้พร้อม ๆ กัน และส่งสัญญาณต่อไปเพื่อติดต่อกับส่วนต่าง ๆ ของร่างกายซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงาน โดยพยายามทำให้ดุลในร่างกายที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นกลับคืนมาใกล้เคียงกับภาวะเดิมให้มากที่สุด หรือ เรียกว่า ปรับให้ร่างกายกลับมาอยู่ในภาวะคงที่

************************************

เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15$^{th}$ ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7$^{th}$ ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8$^{th}$ ed.) NewYork: Harper Collins College.

# แผนการสอน
## วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์
## (Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)

-------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** เซลล์วิทยา (Cytology)

**จำนวน** 2 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับเซลล์ โครงสร้างของเซลล์ การขนส่งสารผ่านเยื่อเซลล์ และศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกส่วนประกอบของเซลล์ได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของเยื่อเซลล์ได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของนิวเคลียสได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของไซโตพลาสซึมได้อย่างถูกต้อง
5. บอกหน้าที่ของออร์กาเนลต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
6. บอกชนิดของการขนส่งผ่านเยื่อเซลล์ได้อย่างถูกต้อง
7. นิยามคำว่าการแพร่ได้อย่างถูกต้อง
8. เปรียบเทียบความแตกต่างการแพร่แบบธรรมดาและการแพร่โดยอาศัยตัวพาได้อย่างถูกต้อง
9. บอกความแตกต่างของสารละลายชนิดต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
10. ตัดสินใจเลือกใช้สารน้ำในภาวะวิกฤติของผู้ป่วยได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายชนิดของการขนส่งแบบใช้พลังงานได้อย่างถูกต้อง
12. บอกความแตกต่างของการลำเลียงสารเข้าออกเซลล์ได้ถูกต้อง
13. อธิบายน้ำที่อยู่ในส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ถูกต้อง
14. สรุปกลไกการเกิดศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ได้อย่างถูกต้อง
15. บอกความสำคัญของศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน

3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 2

**************************************

# เซลล์วิทยา

# (Cell cytology)

ตอนที่ 1 เซลล์ : หน่วยพื้นฐานของร่างกาย

1.1 เยื่อเซลล์ (Plasma cell, Plasma membrane)

1.2 นิวเคลียส (Nucleus)

1.3 ไซโตพลาสซึม (Cytoplasm)

ตอนที่ 2 การขนส่งผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane transport)

2.1 การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

2.2 การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

ตอนที่ 3 สิ่งแวดล้อมของเซลล์ (Cell Environment)

ตอนที่ 4 ศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ (Membrane potential)

# บทที่ 2
# เซลล์วิทยา (Cytology)

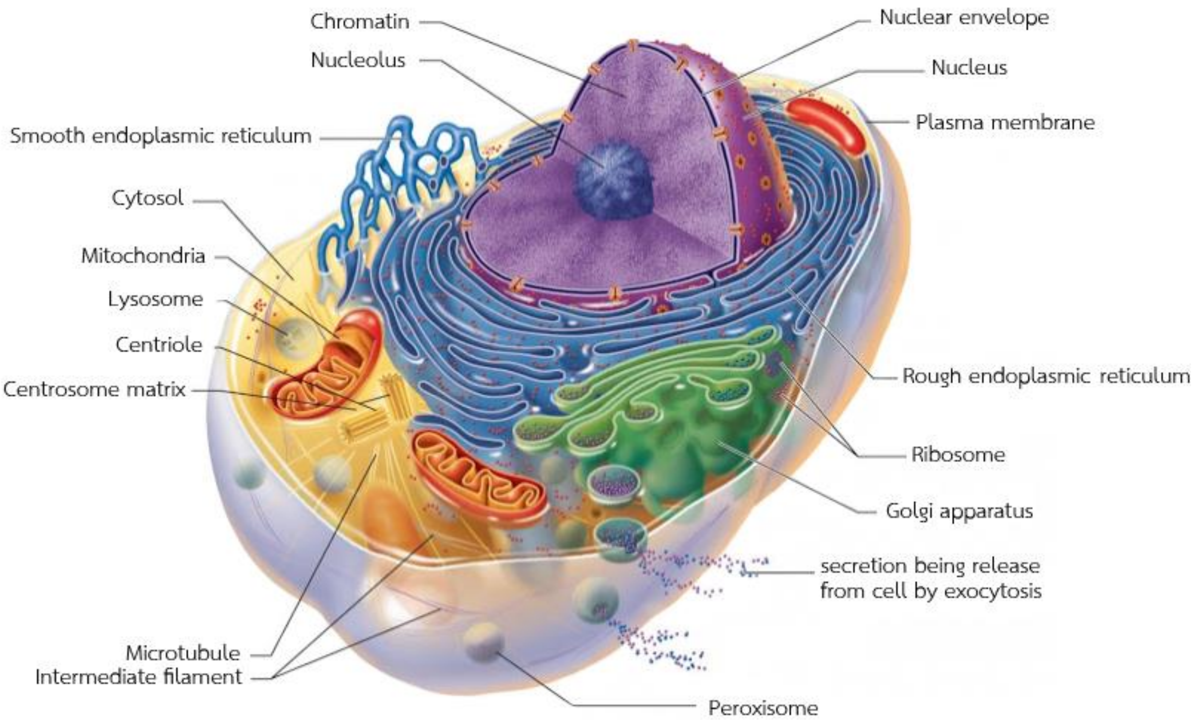
ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม.สรีรวิทยา

ร่างกายมนุษย์มีการจัดและรวบรวม (organization) เป็นโครงสร้างในระดับต่างๆ ตั้งแต่ ระดับเคมี ระดับเซลล์ ระดับเนื้อเยื่อ ระดับอวัยวะ และระดับระบบต่างๆ ของร่างกาย ในบทเรียนนี้ จะได้ศึกษาการทำงานของเซลล์ ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานของโครงสร้างและการทำงานของร่างกาย กระบวนการต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับชีวิตเกิดขึ้นภายในเซลล์เป็นส่วนใหญ่ และกระบวนการในการเกิดโรคก็เริ่มต้นมาจากเซลล์

## ตอนที่ 1
## เซลล์ : หน่วยพื้นฐานของร่างกาย

ร่างกายของของคนเรา ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิด คือ เซลล์ร่างกาย (somatic cells) ซึ่งมีมากมายหลายชนิด และเซลล์สืบพันธุ์ (sex cells, germ cells, reproductive cells) มี 2 ชนิด คือ เซลล์อสุจิ (sperm) ของผู้ชาย และเซลล์ไข่ (ova) ของผู้หญิง

การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ เริ่มต้นมาจากการค้นพบเซลล์ในศตวรรษที่ 17 โดย Hook ซึ่งได้ตั้งทฤษฎีเซลล์ (cell theory) ซึ่งกล่าวว่า สิ่งมีชีวิตทั้งมวลย่อมประกอบด้วยเซลล์ ต่อมาเมื่อมีกล้องจุลทรรศน์ Light microscope ก็มีทฤษฎีที่เรียกว่า Protoplasm theory ซึ่งกล่าวว่า “ภายในเซลล์ประกอบด้วยสารใสๆ มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวคล้ายวุ้น ซึ่งให้ชื่อว่า “protoplasm” การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ได้ทำกันอย่างจริงจังเมื่อได้มีการค้นพบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างและส่วนประกอบภายในเซลล์ได้ละเอียดและถูกต้องมากยิ่งขึ้น




รูปที่ 2-1 แสดงโครงสร้างของเซลล์

**เซลล์** แบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ คือ

1. **เยื่อเซลล์** (Plasma cell, Plasma membrane, Plasmalemma)
2. **นิวเคลียส** (Nucleus) ประกอบด้วย nuclear membrane, nucleoplasm และ nucleolus
3. **ไซโตพลาสซึม** (Cytoplasm) ประกอบด้วย cytosol, organelles และ cytoplasmic inclusion

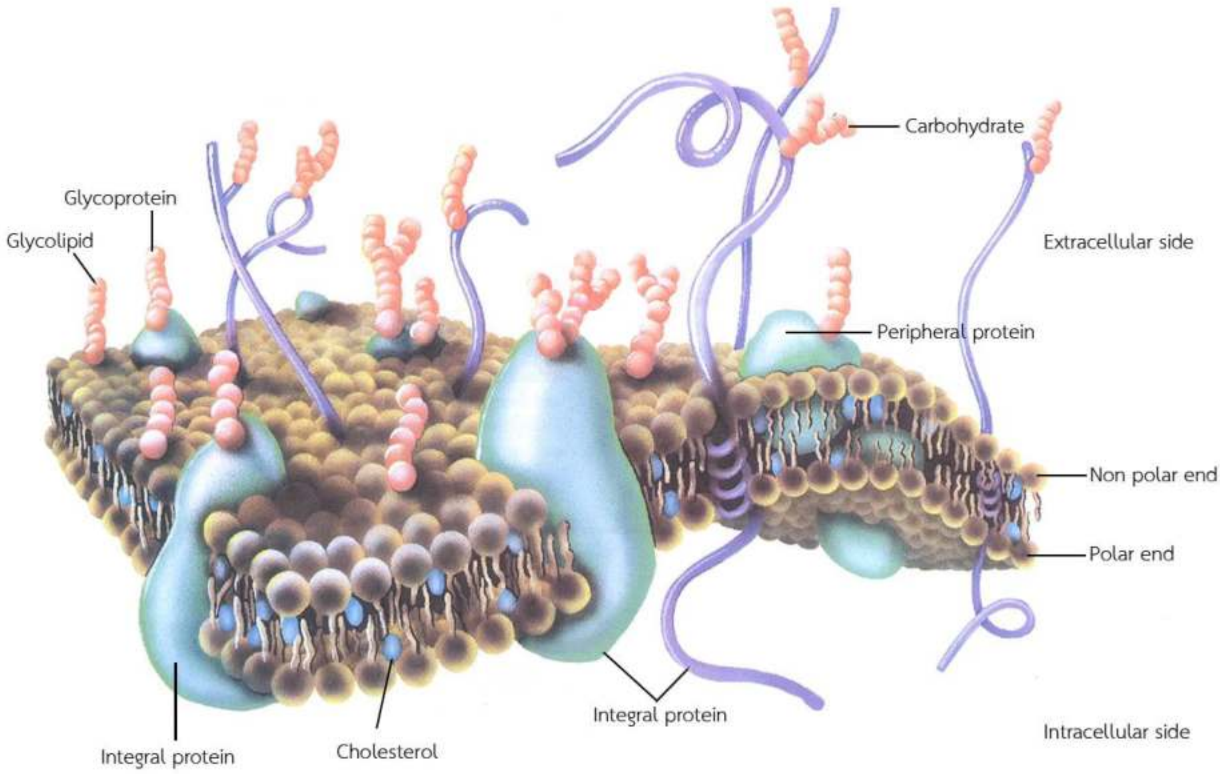
**Organelle** ที่อยู่ภายในเซลล์ จำแนกได้เป็น 2 ประเภท

1. **Organelle ที่มีเยื่อหุ้ม** ได้แก่ mitochondria, endoplasmic reticulum, Golgi complex, lysosome และ peroxisomes
2. **Organelle ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม** ได้แก่ microfilament, microtubule, centrosome, cilia และ microvilli

## 1. เยื่อเซลล์ (Plasma cell, Plasma membrane, Plasmalemma)

เยื่อเซลล์เป็นโครงสร้างของเซลล์ที่หุ้มอยู่รอบเซลล์ เพื่อแยกเซลล์ออกจากสิ่งแวดล้อม โครงสร้างเยื่อเซลล์เป็น lipid bilayer มีส่วนประกอบสำคัญ คือ phospholipid และโปรตีน โครงสร้างของเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ในปี คศ.1972 Singer และ Nicolson ได้เสนอโครงสร้างของเยื่อเซลล์เป็นแบบ Fluid mosaic model ซึ่งเป็นรูปแบบโครงสร้างของเยื่อเซลล์ในปัจจุบัน โดยกล่าวว่า โครงสร้างของเยื่อเซลล์เป็นไขมัน เรียงตัว 2 ชั้น (phospholipid bilayer) และมีโปรตีน (integral protein, peripheral protein) แทรกอยู่ตามชั้นของไขมัน โครงสร้างของเยื่อเซลล์นี้มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา การเรียงตัวของไขมันนั้นจะหันปลายข้างที่มีขั้ว (ชอบน้ำ) ออกด้านนอก หันปลายข้างที่ไม่มีขั้ว (ไม่ชอบน้ำ) เข้าด้านใน




รูปที่ 2-2 แสดงโครงสร้างของเยื่อเซลล์

โปรตีนเยื่อเซลล์ ประกอบด้วย

**1. Integral protein** คือ โปรตีนที่ฝังตัวแทรกลึกลงไปใน phospholipid bilayer อาจจะตลอดความหนาหรือไม่ตลอดความหนาของ phospholipid bilayer ก็ได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น glycoprotein (โปรตีนที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาล)

**2. Peripheral protein** เป็นโปรตีนที่ไม่ได้ฝังตัวลึกลงไปใน Phospholipid bilayer แต่จะเกาะติดกับผิวของ Phospholipid bilayer อย่างหลวม ๆ ซึ่งอาจจะอยู่ที่ผิวด้านในหรือผิวด้านนอกของ Phospholipid bilayer ก็ได้

โปรตีนเหล่านี้ทำหน้าที่ ดังนี้

=> เป็นช่องหรือรู (channel หรือ pore) ที่เป็นทางผ่านของสารเข้าและออกนอกเซลล์

=> เป็นตัวพา (carrier หรือ transporter) เพื่อช่วยลำเลียงสารผ่านเข้าและออกเซลล์

=> เป็นตัวรับ (receptor) สำหรับฮอร์โมน หรือสารสื่อประสาท (Neurotransmitter)

=> เป็นน้ำย่อย (enzyme) เพื่อย่อยสลายสารบางอย่างได้ เช่น ที่ผิวของผนังลำไส้เล็กจะมีเอ็นไซม์ Lactase เพื่อย่อยน้ำตาลแลกโตส ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ กาแลคโตสและกลูโคส

**หน้าที่ของเยื่อเซลล์**

เยื่อเซลล์ ไม่ได้เป็นแค่โครงสร้างของเซลล์ แต่ยังเกี่ยวข้องกับหน้าที่ต่างๆ ของเซลล์ ที่สำคัญ ดังนี้

1. ทำหน้าที่ห่อหุ้มและปกป้องสิ่งที่อยู่ในเซลล์ แยกภายในเซลล์ออกจากสิ่งแวดล้อมภายนอก รวมทั้งเป็นตัวกำหนดขอบเขตของเซลล์ ทำให้เซลล์มีรูปร่างต่างๆ

2. เยื่อเซลล์ เป็นตัวควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ เช่น สารอาหาร ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ของเสีย และสารที่หลั่งจากเซลล์

3. ที่เยื่อเซลล์มี integral protein ฝังอยู่ ทำหน้าที่เป็นตัวรับ (receptor) ทำให้เซลล์สามารถจดจำ และเลือกจับเฉพาะสารบางอย่าง

4. เยื่อเซลล์มี peripheral protein ทำหน้าที่เป็นเอ็นไซม์ กระตุ้นปฏิกิริยาเคมี

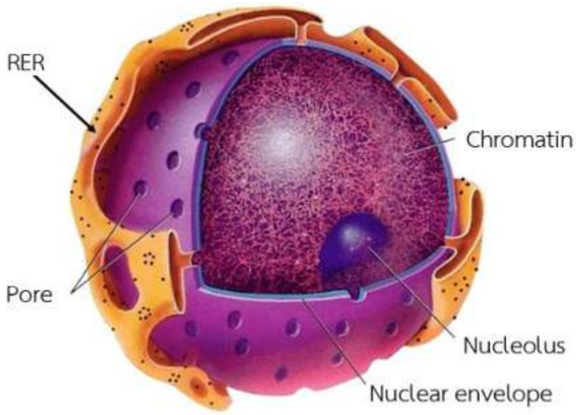
5. ส่วนประกอบของเยื่อเซลล์เป็น substrate ที่นำไปใช้สังเคราะห์สารบางอย่าง เช่น arachidonic acid เป็น substrate ที่ใช้ในการสร้าง prostaglandin

6. เยื่อเซลล์ของเซลล์บางชนิด มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เพื่อทำหน้าที่พิเศษ เช่น เปลี่ยนแปลงไปเป็น villi, microvilli, stereocilia, junctional complex เป็นต้น

## 2. นิวเคลียส (Nucleus)

นิวเคลียสประกอบด้วยสารพันธุกรรม ซึ่งได้แก่ DNA ปกตินิวเคลียสมีรูปร่างกลมอยู่กลางเซลล์ ภายในนิวเคลียส ประกอบด้วย nucleolus และ nucleoplasm ซึ่งล้อมรอบเยื่อหุ้มที่เรียกว่า nuclear membrane ที่พับซ้อนเป็น 2 ชั้น เรียกว่า nuclear envelope และมีทางให้สารผ่านเข้าออกได้ เรียกว่า nuclear pore เซลล์ส่วนใหญ่มีนิวเคลียสอันเดียว ยกเว้นเซลล์บางชนิด เช่น เซลล์กล้ามเนื้อลายมีนิวเคลียสหลายอัน หรือเซลล์เม็ดเลือดแดงไม่มีนิวเคลียส

นิวเคลียสทำหน้าที่ควบคุมการทำงานส่วนอื่นๆ ภายในเซลล์ เช่น ควบคุมเมตาบอลิซึม การเจริญเติบโต การสืบพันธ์ ควบคุมการถ่ายทอดทางพันธุกรรม นิวเคลียสจึงเป็นตัวกำหนดโครงสร้างและการทำงานของเซลล์โดยควบคุมการสร้างโปรตีน




รูปที่ 2-3 แสดงโครงสร้างของนิวเคลียส

**2.1 Nucleolus**

เป็นบริเวณที่มี RNA, DNA และโปรตีนมาเกาะกลุ่ม ลักษณะเป็นเส้นใยเกาะกันเป็นกลุ่ม ประกอบด้วย histone และเอ็นไซม์มีลักษณะเป็นรูปทรงกลม หน้าที่ของ nucleolus คือ การสร้าง rRNA ส่งออกนอกนิวเคลียส โดยผ่านทาง nuclear pore เพื่อสร้างโปรตีนใน cytoplasm

**2.2 Nucleoplasm**

เป็นของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ล้อมรอบ nucleolus โดยมี nuclear membrane กั้นแยกจากส่วนไซโตพลาสซึมของเซลล์  ใน nucleoplasm ประกอบด้วย chromatin

**2.3 Nuclear membrane (Nuclear envelope)**

เป็นเยื่อหุ้มนิวเคลียส ลักษณะเป็นเยื่อ 2 ชั้น แยกจากกัน ตรงกลางเป็นช่อง เรียกว่า perinuclear space เยื่อหุ้มนี้มีรู (nuclear pore) จำนวนมาก รูเหล่านี้เป็นทางให้สารผ่านเข้าออกระหว่างนิวเคลียสและไซโตพลาสซึม

## 3. ไซโตพลาสซึม (Cytoplasm)

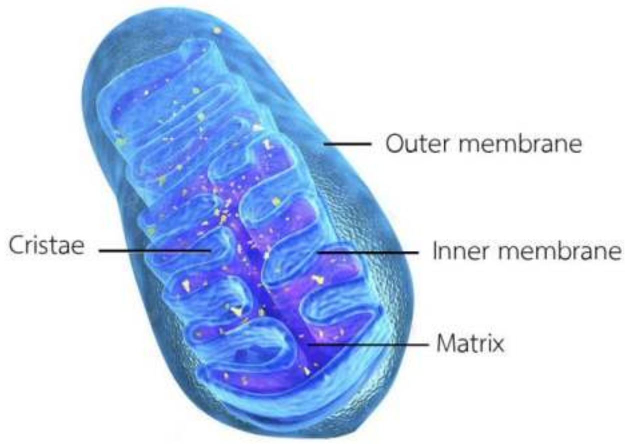
ไซโตพลาสซึม หมายถึง สิ่งที่บรรจุอยู่ภายในเซลล์ ยกเว้นนิวเคลียส แยกเป็น 3 ส่วน คือ

1. Cytoplasm organelle เป็นองค์ประกอบที่มีชีวิต เช่น Mitochondria, Rough endoplasmic reticulum (RER), Smooth endoplasmic reticulum (SER), Golgi apparatus, Lysosome, Ribosome, Cytoskeleton เป็นต้น
2. Cytoplasmic inclusions เป็นสิ่งไร้ชีวิตที่แขวนลอยใน cytoplasm ได้แก่ อาหารที่เก็บไว้ในเซลล์ และเม็ดสี
3. Cytosol เป็นส่วนของของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์

**Cytoplasm organelle** ได้แก่

**1. ไมโตคอนเดรีย (Mitochondria)**

ไมโตคอนเดรีย  มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์  ปกติมักมีรูปร่างเป็นแท่งปลายทั้ง  2 ข้าง  มนกลม  จำนวนไมโตคอนเดรียขึ้นอยู่กับชนิดและระยะของการพัฒนาของเซลล์  ไมโตคอนเดรียมีเยื่อหุ้มซ้อนกัน 2 ชั้น ชั้นนอกมีรูจำนวนมาก และยอมให้สารที่มีโมเลกุลเล็กๆ ผ่านเข้าออกได้ ชั้นในยื่นเข้าไปในช่องตรงกลาง เป็นรอยพับมากมาย เรียกว่า cristae บริเวณเนื้อเยื่อนี้มีเอ็นไซม์ที่ใช้ในการผลิต ATP




รูปที่ 2-4 รูปแสดง mitochondria

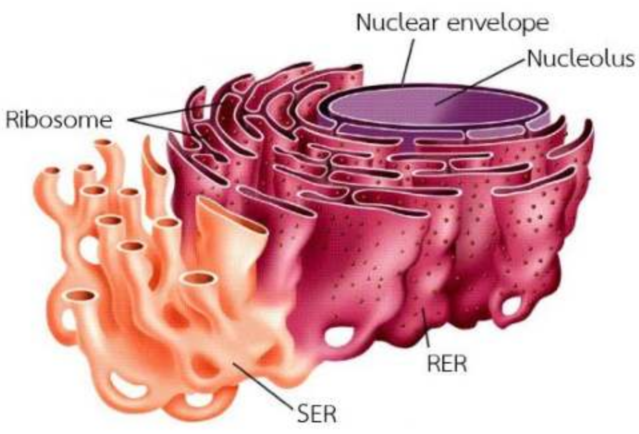
ไมโตคอนเดรีย มีหน้าที่สำคัญในการสร้างพลังงานให้แก่เซลล์ ในรูปของ adenosine triphosphate (ATP) รวมทั้งยังมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก

**2. เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum, ER)**

เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม มีลักษณะเป็นร่างแห เรียงตัวซ้อน ๆ กัน และติดต่อถึงกัน รูปร่างและขนาดมีความแตกต่างกันไปตามการทำงานในแต่ละระยะต่างๆ อาจเป็นแท่งยาวหรือมีลักษณะเป็นถุงแบน และมีเนื้อหุ้มเอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม มี 2 ชนิด ได้แก่

**2.1 Rough endoplasmic reticulum (RER)** ผิวด้านนอกของ RER มีลักษณะขรุขระ เนื่องจากมี ribosome มาเกาะติดอยู่ที่ผิว หน้าที่หลักของ RER คือ การสังเคราะห์โปรตีน เช่น ฮอร์โมน สำหรับส่งออกไปใช้นอกเซลล์ เรียกโปรตีนชนิดนี้ว่า secretory protein

**2.2 Smooth endoplasmic reticulum (SER)** มีลักษณะคล้าย RER แต่ผิวจะเรียบ เนื่องจาก ไม่มี ribosome ติดที่ผิว หน้าที่หลักของ SER เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน เช่น โคเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ สเตียรอยด์ฮอร์โมน นอกจากนี้ SER ที่เซลล์กล้ามเนื้อลาย และเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ทำหน้าที่เก็บแคลเซี่ยมเพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ




รูปที่ 2-5 แสดง endoplasmic reticulum

### 3. Ribosomes

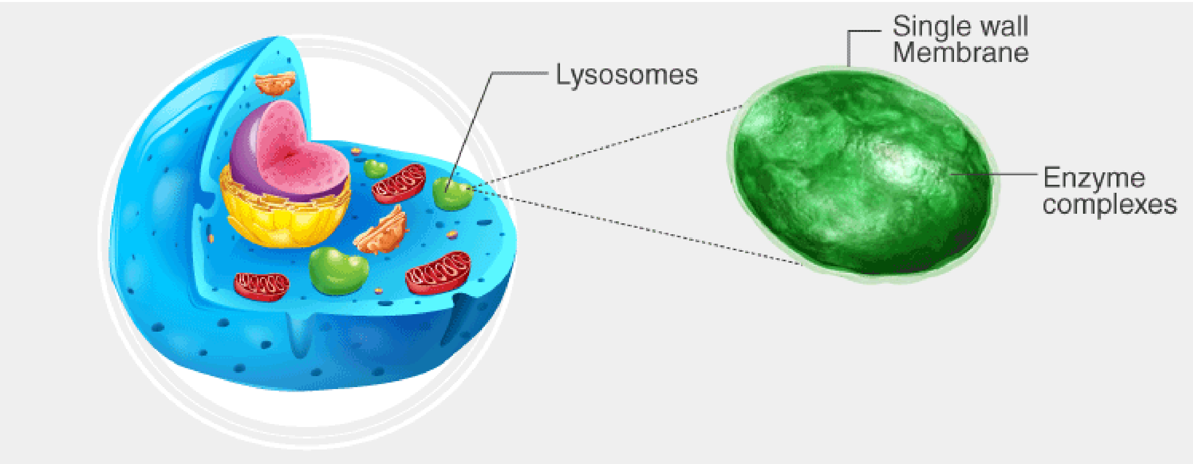
เป็นโครงสร้างรูปทรงกลมตัน ไม่มีเปลือกหุ้ม ประกอบด้วย rRNA และโปรตีนอยู่รวมกัน มีหน้าที่สร้างโปรตีน ribosome มี 2 ชนิด ชนิดแรก เรียกว่า **attached ribosome** เป็นชนิดที่พบเกาะอยู่ที่ผิวของ ER ทำหน้าที่สร้างโปรตีนเพื่อนำไปใช้นอกเซลล์ อีกชนิดเรียกว่า **free ribosome** เป็น ribosome ที่อยู่โดดเดี่ยวและกระจายอยู่ทั่วไปใน cytoplasm ทำหน้าที่สร้างโปรตีนสำหรับใช้ภายในเซลล์

### 4. Golgi apparatus

มีลักษณะเป็นแผ่นแบน หรือเป็นแท่ง มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว อยู่ใกล้นิวเคลียส ลักษณะเป็นแผ่นโค้งเว้าเข้าหานิวเคลียส หน้าที่ของ Golgi apparatus คือ การเติมองค์ประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรท หรือไขมันให้กับโปรตีนที่สร้างจาก RER และเป็นที่เก็บสะสมสิ่งที่เซลล์สร้างขึ้น โดยการเก็บไว้ในแกรนูล เพื่อส่งออกมาภายนอกเซลล์

### 5. Lysosomes

มีลักษณะเป็นทรงกลมมีเยื่อหุ้ม ขนาดต่างๆ กัน ภายในมีเอ็นไซม์ที่ใช้ในการย่อยหลายชนิด ที่สำคัญ คือ acid phosphatase ไลโซโซมต่างชนิดกัน จะมีชนิดและปริมาณเอ็นไซม์ต่างกัน แต่ก็ทำหน้าที่ย่อยสลายภายในเซลล์ โดยจะย่อยสารที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก และสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในเซลล์ รวมทั้งทำหน้าที่ทำลาย organelles ที่มีอายุ เสื่อมสภาพ หรือที่เซลล์ไม่ต้องการใช้แล้ว




รูปที่ 2-6 แสดงลักษณะของ Lysosomes

### 6. Peroxisomes

มีลักษณะเป็นถุง คล้ายไลโซโซม แต่มีขนาดเล็กกว่า ภายในมีเอ็นไซม์ที่ใช้ทำลายสารบางชนิด เช่น แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ peroxisomes พบมากในเซลล์ตับ

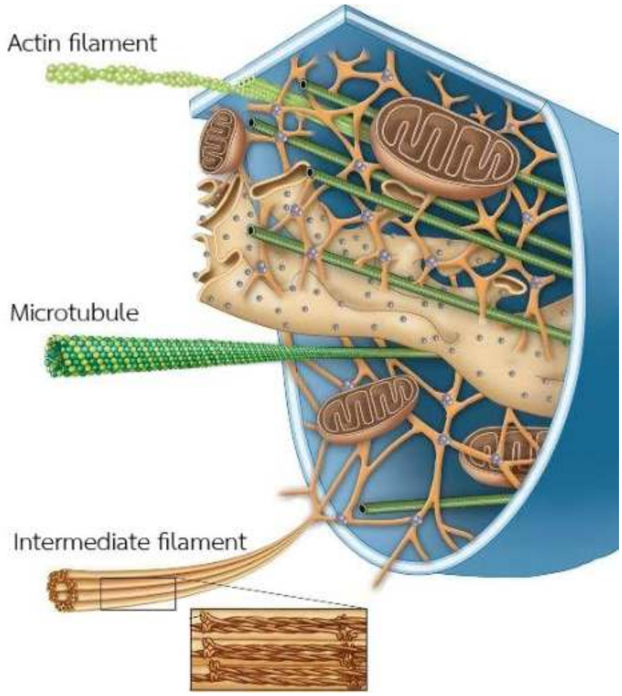
## โครงร่างของเซลล์ (Cytoskeletal)

โครงร่างของเซลล์ ประกอบด้วยเส้นใยโปรตีน 3 ชนิด ได้แก่ Microfilaments, Microtubule และ Intermediate filament เส้นใยโปรตีนเหล่านี้ กระจายเป็นร่างแห อยู่ในไซโตพลาสซึม ทำให้เซลล์มีความแข็งแรงคงรูปอยู่ได้ หรือสามารถทำให้เซลล์เปลี่ยนรูปร่าง หรือเคลื่อนไหวได้ และยังทำหน้าที่ยึด organelles ต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์

**1. Microfilaments** เป็นโปรตีนเส้นใยเล็กๆ คล้ายเส้นด้าย ส่วนใหญ่พบประกอบด้วยโปรตีนแอกติน (actin) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการหดตัว ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเซลล์

**2. Microtubule** ที่มีลักษณะคล้ายท่อยาวทรงกระบอกขนาดเล็ก ขนาดใหญ่กว่า Microfilaments ทำหน้าที่ให้เซลล์คงรูปอยู่ได้ รวมทั้งเป็นโครงสร้างของ organelles บางชนิด เช่น centrioles และ cilia ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของสารบางอย่างในเซลล์

**3. Intermediate filament** เป็นเส้นใยโปรตีนขนาดกลาง ทำหน้าที่เป็นโครงร่างทำให้เซลล์มีความแข็งแรง เช่น neurofilament ในระบบประสาท นอกจากนี้ Intermediate filament ยังประกอบด้วยโปรตีน myosin ทำให้มีความสามารถในการหดตัวหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง




รูปที่ 2-7 แสดงโครงร่างของเซลล์ (Cytoskeleton)

## ตอนที่ 2
## การขนส่งผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane transport)

เซลล์ที่ยังมีชีวิตจะมีการขนส่งสารต่างๆ ผ่านเข้าและออกจากเซลล์ การขนส่งผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การขนส่งสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นการขนส่งที่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นสารจะต้องมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน

2. การขนส่งสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นการขนส่งที่ไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เพราะสารมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ จึงอาศัยการโอบล้อมสารนั้นเข้ามาสู่เซลล์แทน

**1. การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์** แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับการใช้พลังงาน ATP

**1.1 แบบไม่ใช้พลังงาน ATP (Passive transport)**

1) การแพร่ (Diffusion) มี 2 แบบคือ

=> การแพร่แบบธรรมดา (Simple diffusion)

=> การแพร่โดยอาศัยตัวพา (Facilitated diffusion)

2) ออสโมซิส (Osmosis)

3) ไดอะไลซิส (Dialysis)

**1.2 แบบใช้พลังงาน ATP (Active transport)**

1) กระบวนการแอ็คทีพทรานสปอร์ท (Active transport)

**2. การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์** (แบบนี้ใช้พลังงาน ATP ทุกกรณี) สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ

2.1 กระบวนการเอกโซไซโตซิส (Exocytosis)

2.2 กระบวนการเอนโดไซโตซิส (Endocytosis)

1) ฟาโกไซโทซิส (Phagocytosis)

2) พิโนไซโทซิส (Pinocytosis)

3) การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ (Receptor mediated endocytosis)

### การแพร่ (Diffusion)

การแพร่ (Diffusion) คือ การเคลื่อนที่ของอนุภาคสาร จากบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารต่ำ โดยอาศัยพลังงานจลน์ของสารเอง การแพร่มี 2 แบบ ดังนี้

**1. การแพร่แบบธรรมดา (Simple diffusion)** การเคลื่อนที่ของสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน เป็นการเคลื่อนที่สารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ หรือเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคสารจากบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารต่ำโดยอาศัยพลังงานจลน์ของสารเอง เพื่อให้มีการกระจายตัวของสารอย่างสม่ำเสมอ ณ บริเวณหนึ่งๆ

การแพร่สุทธิ (net flux) จะยุติลง เมื่อความเข้มข้นของสาร ณ สองบริเวณนั้นเท่ากัน อัตราการแพร่สุทธิของสารในสารละลาย สามารถคำนวณได้จากกฎของฟิกส์ (Fick's law of diffusion)

$$J = - PA (C_1 - C_2)$$

เมื่อ $J$ = อัตราการแพร่สุทธิของสารผ่านเยื่อเซลล์

$A$ = พื้นที่เยื่อเซลล์ที่สารแพร่ผ่าน

$C_1$ และ $C_2$ = ความเข้มข้นในด้านที่ 1 และด้าน 2 ของเยื่อเซลล์

$P$ = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเซลล์

ข้อสังเกต กฎของฟิกส์ มีเครื่องหมายเป็นลบ เพื่อแสดงว่า ความเข้มข้นของสาร ณ บริเวณที่มีความเข้มข้นสูง จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป

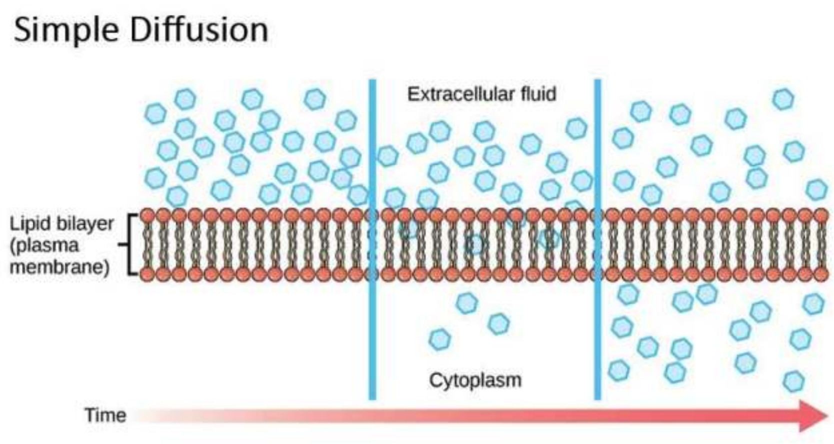
จากสมการข้างบน เมื่อ C1 เท่ากับ C2 อัตราการแพร่สุทธิ (J) จะเท่ากับ 0 นั่นคือ อัตราการแพร่ของสารจากด้านที่ 1 ไปยังด้านที่ 2 จะเท่ากับอัตราการแพร่จากด้านที่ 2 มายังด้านที่ 1 ทำให้ไม่มีการแพร่สุทธิของสารจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง เราเรียกสภาวะนี้ว่าอยู่ในภาวะสมดุล (equilibrium)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการแพร่สุทธิของสารต่างๆ ผ่านเยื่อเซลล์ชนิดใดชนิดหนึ่ง จะพบว่า อัตราการแพร่สุทธิของสาร ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของสาร และความแตกต่างของความเข้มข้นของสารระหว่าง 2 ด้านของเยื่อเซลล์ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาอีกด้วยว่าสารนั้นมีประจุไฟฟ้าด้วย เช่น โซเดียม อัตราการแพร่ยังขึ้นอยู่กับความแตกต่างของศักดิ์ไฟฟ้าข้ามเยื่อเซลล์อีกด้วย โดยทั่วไปภายในเซลล์จะมีศักดิ์ไฟฟ้าต่ำกว่าภายนอกเซลล์ (หรือเป็นลบ) ดังนั้น สำหรับโซเดียมจึงมีแรงดึงเนื่องจากศักดิ์ไฟฟ้าให้เข้ามาภายในเซลล์ นั่นคือ สารที่มีประจุไฟฟ้าจะต้องพิจารณาผลรวมของความแตกต่างทั้งในเชิงความเข้มข้นและเชิงศักดิ์ไฟฟ้า (electrochemical gradient) ข้ามเยื่อเซลล์

อีกประเด็นที่ต้องพิจารณาคือ เยื่อเซลล์เป็นไขมัน ดังนั้นอัตราการแพร่ของสารผ่านเยื่อเซลล์ จึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายในไขมัน สารที่ไม่มีประจุสามารถละลายในไขมันได้ดี จะมีอัตราการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์สูง ตรงข้ามกับสารที่มีประจุ จะละลายในมันได้น้อยหรือไม่ละลายเลย ทำให้มีอัตราการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ต่ำ นักวิทยาศาสตร์ ชื่อ Overton ได้สรุปความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ ความสามารถในการละลายในไขมัน และขนาดของสารไว้ ดังนี้

1. ความสามารถในการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ของสารที่มีขนาดเล็ก และไม่มีขั้ว จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสามารถในการละลายของไขมันนั้น

2. ความสามารถในการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ของสารที่มีขั้ว จะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารนั้น




รูปที่ 2-8 แสดง Simple diffusion

**2. การแพร่แบบฟาซิลิเทต หรือแบบเร่งรัด (Facilitated diffusion)**

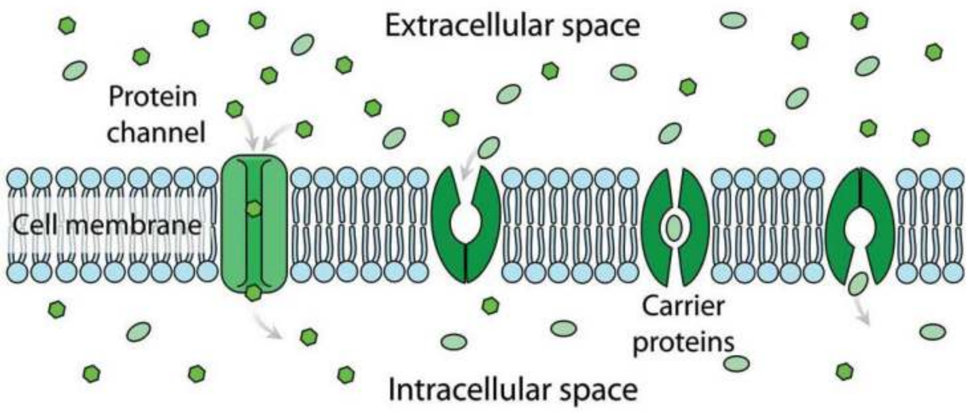
เป็นการเคลื่อนที่ของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ จากด้านที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูงกว่าไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้อยกว่า โดยไม่ใช้พลังงานเช่นเดียวกับการแพร่แบบธรรมดา แต่ใช้**โปรตีนตัวพา (carrier)** และมีข้อแตกต่างจากการแพร่แบบธรรมดา ดังนี้

1. มีอัตราการแพร่เร็วกว่าการแพร่แบบธรรมดาหลายเท่าตัว

2. อัตราการแพร่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร แต่มีจุดอิ่มตัว (saturation) ซึ่งเมื่อถึงจุดอิ่มตัว ไม่ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารมากเพียงใด อัตราการแพร่ก็พบว่าไม่เพิ่มขึ้นตาม เพราะเชื่อว่าโปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวพาได้ถูกใช้จนหมดแล้ว อัตราการแพร่จึงไม่เพิ่มขึ้น

3. เป็นกระบวนการที่มีความจำเพาะต่อโครงสร้างของสารแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น เช่น น้ำตาล D - Glucose เท่านั้นที่มีการแพร่แบบเร่งรัด ส่วนน้ำตาล L - Glucose ไม่มีการแพร่แบบเร่งรัด

4. อัตราการแพร่สามารถถูกยับยั้งแบบแก่งแย่ง (Competitive inhibition) ได้โดยสารที่มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน เช่น น้ำตาล D - Glucose จะถูกยับยั้งแบบแก่งแย่งโดย น้ำตาล D – Galactose




รูปที่ 2-9 แสดงวิธีการแพร่แบบเร่งรัด (facilitated diffusion)

**ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่**

1. สถานะของสาร โดยแก๊สมีพลังงานจลน์สูงสุด จึงมีอัตราการแพร่สูงสุด

2. สถานะของตัวกลางที่สารจะแพร่ผ่าน โดยตัวกลางที่เป็นแก๊สจะมีแรงต้านน้อยที่สุดจึงทำให้มีอัตราการแพร่สูงที่สุด

3. ขนาดอนุภาคของสาร โดยอนุภาคยิ่งเล็กยิ่งมีอัตราการแพร่สูง

4. ระยะทางที่สารจะแพร่ในหนึ่งหน่วยเวลา

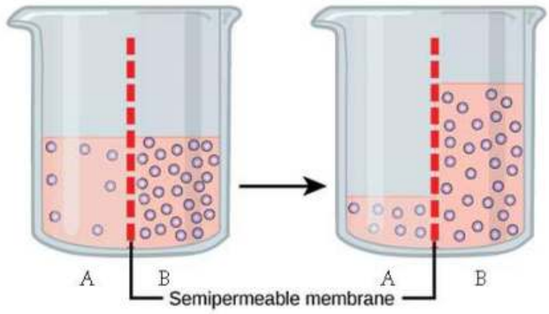
5. อุณหภูมิ โดยจะมีผลต่อการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับสารทำให้มีอัตราการแพร่เพิ่มสูงขึ้น

6. ความดัน เมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นจะเพิ่มความหนาแน่นให้กับสาร ส่งผลให้มีอัตราการแพร่เพิ่มสูงขึ้น

7. ความแตกต่างของความเข้มข้นสารระหว่าง 2 บริเวณ

## ออสโมซิส หรือ การแพร่ของน้ำผ่านเยื่อเซลล์ (Osmosis)

ออสโมซิส คือ**การเคลื่อนที่ของน้ำ**แพร่ผ่านเยื่อเซลล์จากบริเวณที่มีปริมาณอนุภาคน้ำมาก ไปสู่บริเวณที่มีปริมาณอนุภาคน้ำน้อยกว่า หรือการแพร่ของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่าน จากสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อย ไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า




รูปที่ 2-10 แสดงออสโมซิส

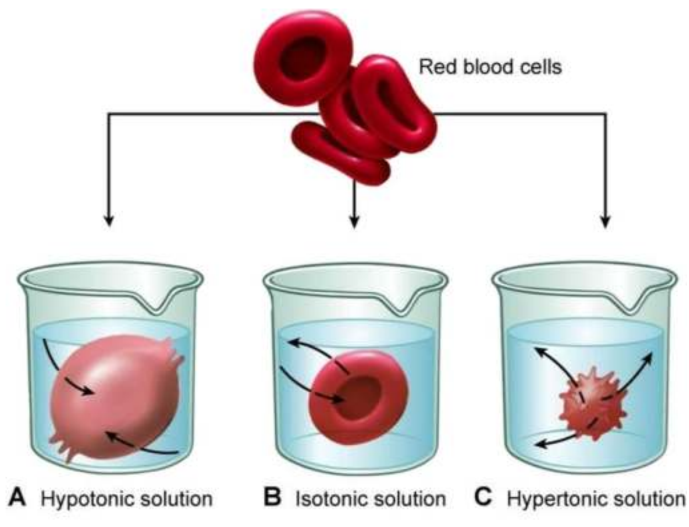
สารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกันจะมีผลต่อเซลล์แตกต่างกันด้วย จึงทำให้แบ่งสารละลายที่อยู่นอกเซลล์ออกได้เป็น 3 ชนิด ตามการเปลี่ยนขนาดของเซลล์ เมื่ออยู่ภายในสารละลายนั้น คือ

**1. สารละลายไอโซโทนิก (isotonic solution)** หมายถึง สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากับสารละลายภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของเซลล์เมื่ออยู่ในสารละลายชนิดต่างๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

**2. สารละลายไฮโปโทนิก (hypotonic solution)** หมายถึง สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าสาร ละลายภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของเซลล์เมื่ออยู่ในสารละลายชนิดต่างๆ น้ำจะออสโมซิสเข้าสู่เซลล์ ทำให้**เซลล์เต่ง, เซลล์พอง, เซลล์แตก**

**3. สารละลายไฮเปอร์โทนิก (hypertonic solution)** หมายถึง สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าสารละลายภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของเซลล์เมื่ออยู่ในสารละลายชนิดต่างๆ น้ำจะออสโมซิสออกจากเซลล์ ทำให้**เซลล์หด, เซลล์เหี่ยว**

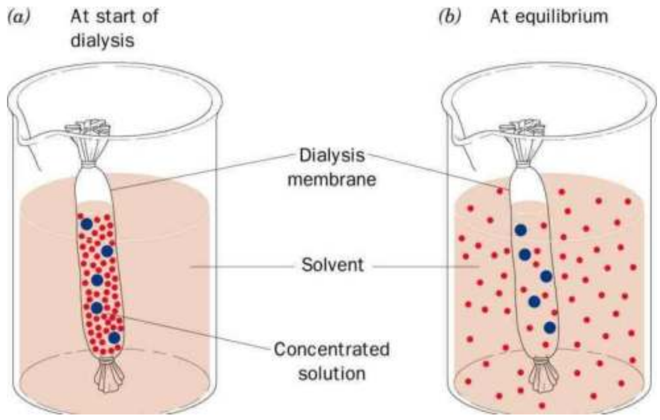
ดังนั้นในการให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ จึงต้องพึงระวังผลของออสโมซิสที่มีต่อเม็ดเลือด




รูปที่ 2-11 แสดงความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ที่มีต่อเม็ดเลือดแดง

## ไดอะไลซิส (Dialysis)

เป็นการแพร่ของตัวถูกละลายผ่านเยื่อ จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารมากไป ยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารน้อย (สารมากไปสารน้อยเหมือนการแพร่ และต้องผ่านเยื่อเลือกผ่านเหมือนการออสโมซิส)




รูปที่ 2-12 รูปแสดงการไดอะไลซิส (สารมากไปสารน้อยแต่ต้องผ่านเยื่อบางๆ)

จากที่กล่าวมาข้างต้น ไม่ว่าจะเป็นการแพร่แบบธรรมดา การแพร่แบบเร่งรัด และไดอะไลซิส เป็นการขนส่งจากด้านที่มีความเข้มข้นสูงไปยังด้านที่มีความเข้มข้นต่ำเสมอ จนความเข้มข้นสองด้านอยู่ในภาวะสมดุล โดยไม่อาศัยพลังงานจากแหล่งใด

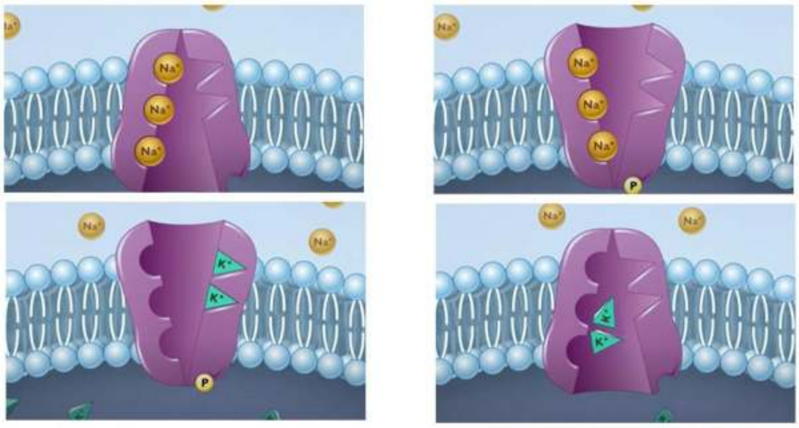
## การขนส่งแบบใช้พลังงาน (Active transport)

ในธรรมชาติสารบางชนิดมีการขนส่งผ่านเยื่อเซลล์ต้านความลาดเชิงความเข้มข้น ระหว่างเยื่อเซลล์ หรือต้านความลาดเชิงความเข้มข้นและเชิงไฟฟ้า การขนส่งแบบนี้ต้องใช้ ATP การขนส่งจะเกิดขึ้นตราบใดที่ยังมีพลังงาน และจะลดลงเมื่อพลังงานจากเมตาบิลิซึมของเซลล์ลดลง เราเรียกการขนส่งชนิดนี้ว่า การขนส่งแบบใช้พลังงาน (active transport) ซึ่งสรุปคุณสมบัติได้ดังนี้

1. สามารถขนส่ง จากด้านที่มีความเข้มข้นน้อยไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นมากกว่า (ต้านความลาดเชิงความเข้มข้น หรือต้านความลาดเชิงศักย์ไฟฟ้า)
2. มีจุดอิ่มตัวของอัตราการขนส่ง
3. มีความจำเพาะ ในการขนส่งสารบางชนิด และมีการยับยั้งแบบแก่งแย่ง (competitive inhibition) โดยสารที่มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกัน
4. ถูกยับยั้งได้โดยสารเคมี หรือกระบวนการที่ไปหยุดการสร้างพลังงานจากเมตาบอลิซึมของเซลล์

**การขนส่งแบบใช้พลังงานมี 2 ชนิด คือ**

**1. การขนส่งแบบใช้พลังงานปฐมภูมิ (Primary active transport)** พลังงานจากเมตาบอลิซึมที่เซลล์สามารถนำไปใช้อยู่ในรูปของ ATP ตัวอย่างการขนส่งชนิดนี้ คือ $Na^{+}/K^{+}$ ATPase pump (โซเดียม/โพแทสเซียม เอทีพีเอส) หรือเรียกกันย่อ ๆ ว่า โซเดียม/โพแทสเซียมปั๊ม ซึ่งพบได้ในเกือบทุกเซลล์ เพื่อปั๊มโซเดียมออก ในขณะเดียวกันปั๊มโพแทสเซียมเข้าเซลล์ ในอัตราการแลกเปลี่ยนโซเดียม 3 ไอออน ต่อโพแทสเซียม 2 ไอออน กระบวนการนี้มีความสำคัญในการรักษาสภาวะภายในเซลล์ให้มีความเข้มข้นของโซเดียมต่ำ แต่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงกว่าภายนอกหลายเท่าตัว

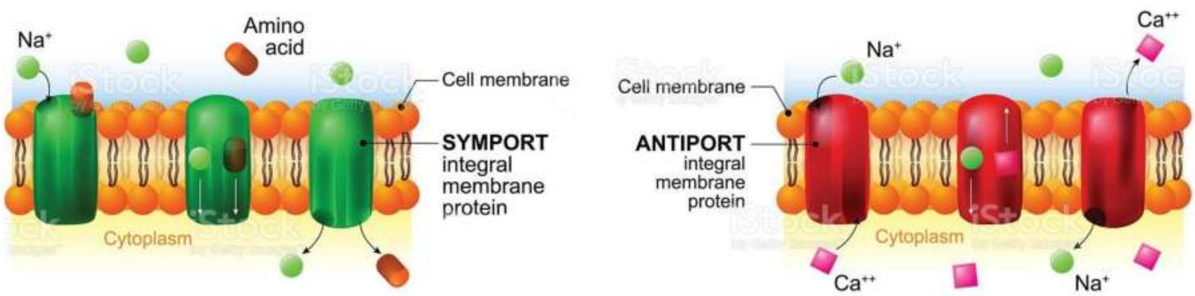


รูปที่ 2-13 แสดงการทำงานของ $Na^+/K^+$ ATPase pump โดยนำโซเดียม ($Na^+$) จำนวน 2 โมเลกุล จากภายในออกไปนอกเซลล์ ในขณะเดียวกันนำโปตัสเซียม ($K^+$) จากนอกเซลล์เข้ามาภายในเซลล์

ในปัจจุบัน มีการอธิบายว่า ATP ในไซโตพลาสซึม จับกับโปรตีนที่เป็นตัวพาในเยื่อเซลล์ แล้วถ่ายทอดกลุ่มฟอสเฟตให้ตัวพา ซึ่งจะจับกับโซเดียมไอออน และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวพา หันด้านที่จับกับโซเดียมออกสู่ด้านนอกเซลล์แล้วปลดปล่อยโซเดียมออก ต่อมาตัวพาจะปลดปล่อยฟอสเฟตออก ซึ่งปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับการจับ โพแทสเซียมด้านนอกเซลล์ เมื่อจับกับโพแทสเซียมแล้วจะมีการเปลี่ยนรูปร่างอีกครั้ง ทำให้ด้านที่จับกับโปตัสเซียมหันกลับเข้าสู่ด้านใน แล้วปลดปล่อยโปตัสเซียมเป็นอิสระในไซโตพลาสซึม รูปร่างของตัวพาจะกลับมาสู่สภาพเดิม ปฏิกิริยาเกิดเป็นวงจรสลับกันไปมาแบบนี้ ตราบใดที่ยังมีพลังงานจาก ATP

**2. การขนส่งแบบใช้พลังงานทุติยภูมิ (Secondary active transport)** พลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้ไม่ใช้ ATP กลไกการขนส่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งที่ควบคู่กับการขนส่งโซเดียม โดยตัวพามีตำแหน่งเฉพาะ 2 ตำแหน่ง ที่จะจับกับโซเดียมไอออน และสารที่จะขนส่ง การจับกับโซเดียมไอออนภายนอกเซลล์จะเสริมให้มีการจับสารที่จะขนส่งเกิดขึ้นได้ง่าย ถึงแม้จะมีความเข้มข้นภายนอกเซลล์ต่ำ เมื่อตัวพาจับกับโซเดียมและสารที่จะขนส่งแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวพา ทำให้หันส่วนที่จับกับสารทั้งสองเข้าสู่ด้านในเซลล์ เนื่องจากความเข้มข้นโซเดียมไอออนภายในเซลล์ต่ำ โซเดียมจึงหลุดออกจากตัวพา ความสามารถในการจับสารที่จะขนส่งก็ลดลงด้วย ตัวพาจึงปลดปล่อยสารดังกล่าวเป็นอิสระภายในเซลล์ หลังจากนั้นตัวพาปรับเปลี่ยนรูปร่างใหม่ โดยหันตำแหน่งที่จะจับกับโซเดียม และสารที่จะขนส่งออกสู่ด้านนอกเซลล์เช่นเดิม

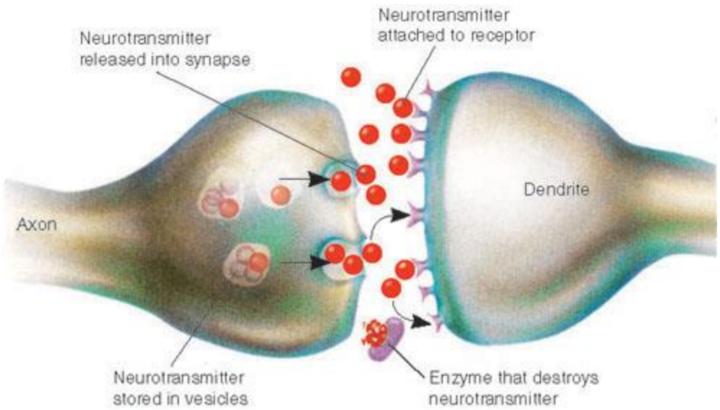
กระบวนการที่สารขนส่งอยู่ด้านเดียวกับโซเดียม จะทำให้การขนส่งสารกับการขนส่งโซเดียมเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกัน เรียกว่า **co – transport (symporter)** แต่ในกรณีสารที่ขนส่งอยู่คนละด้านกับโซเดียม ทำให้การขนส่งสารกับการขนส่งโซเดียมเกิดในทิศทางตรงข้าม เรียกว่า **antiport**




รูปที่ 2-14 แสดง symport และ antiport (ที่มา : https://www.istockphoto.com/)

## การลำเลียงสารออกนอกเซลล์ (Exocytosis)

เป็นการลำเลียงสารออกนอกเซลล์ สารพวกนี้มีขนาดใหญ่ไม่สามารถทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ดังนั้น ต้องอาศัยส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ช่วยนำสารออกจากเซลล์ เช่น การลำเลียงฮอร์โมน สารสื่อประสาท เอนไซม์ และแอนติบอดี เป็นต้น




รูปที่ 2-12 แสดง exocytosis ของสารสื่อประสาท ที่ปลายประสาท

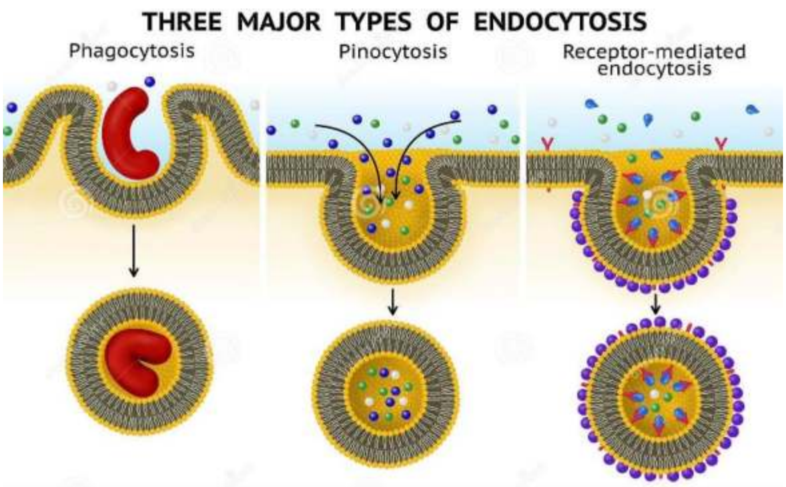
## การลำเลียงสารเข้าในเซลล์ (Endocytosis)

มีวิธีสำคัญ คือ

**1. Phagocytosis** เป็นวิธีการนำสารที่เป็น**ของแข็ง**เข้าสู่เซลล์ เช่น เซลล์แบคทีเรีย เรียกวิธีการแบบนี้ว่า cell eating โดยส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์จะยื่นออกไปทำให้มีลักษณะคล้ายเท้าเทียมเรียก Pseudopodium โอบล้อมสารเข้าภายในเซลล์ โดยอาศัยพลังงาน ATP

**2. Pinocytosis** เป็นวิธีการนำ**ของเหลว**เข้าสู่เซลล์หรือที่เรียกว่า cell drinking โดยส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์จะมีการเว้าเข้ามาในไซโทพลาสซึม แล้วสารจะหลุดเข้ามา โดยอาศัยพลังงาน ATP

**3. Receptor mediated endocytosis** (การนำสารเข้าในเซลล์ โดยอาศัยตัวรับ) เป็นการนำสารอินทรีย์ เช่น Ferritin, Cholesterol, Lipoprotein, Antigen เข้าสู่เซลล์ โดยอาศัย**ตัวรับ**ที่มีความจำเพาะ จับกับสารได้อย่างเหมาะสม โดยตัวรับจำเพาะจะอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์




รูปที่ 2-13 แสดงการลำเลียงสารเข้าในเซลล์ (Endocytosis)

## ตอนที่ 3
## สิ่งแวดล้อมของเซลล์ (Cell Environment)

รอบๆ เซลล์มีสารน้ำที่เรียกว่า น้ำนอกเซลล์ หรือ extracellular fluid สารน้ำนี้อยู่รอบๆ เซลล์และเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ เพื่อทำความเข้าใจเรื่องสิ่งแวดล้อมเซลล์ จึงควรทราบเกี่ยวกับสารน้ำในร่างกาย พอสังเขป

### สารน้ำในร่างกาย (Body fluid)

ในภาวะปกติร่างกายประกอบด้วยน้ำ โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 60 ของน้ำหนักตัว (Total body water, TBW) น้ำที่อยู่ในร่างกายทั้งหมด แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

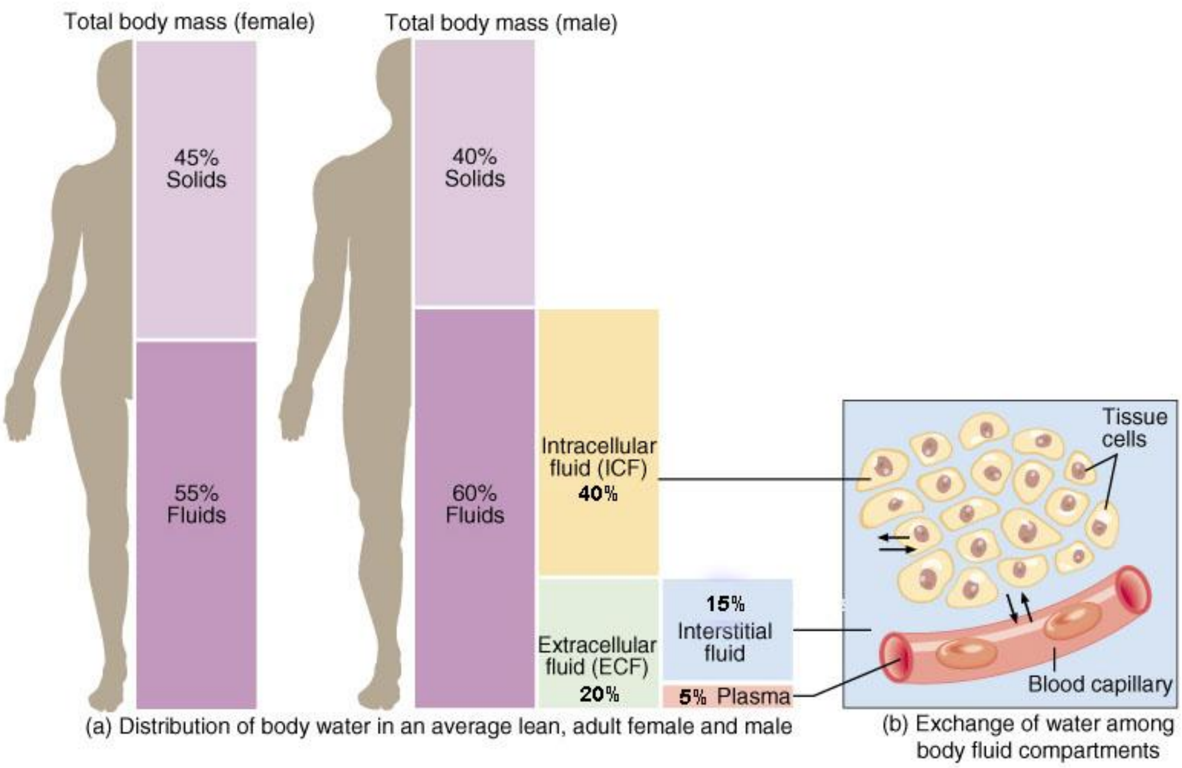
**1. น้ำภายในเซลล์ (Intracellular fluid, ICF)** มีประมาณ 2/3 ส่วนของน้ำที่มีอยู่ในร่างกายทั้งหมด หรือประมาณ 40% ของน้ำหนักตัว

**2. น้ำภายนอกเซลล์ (Extracellular fluid, ECF)** มีประมาณ 1/3 ส่วนของน้ำที่มีอยู่ในร่างกายทั้งหมด หรือประมาณ 20% ของน้ำหนักตัว น้ำภายนอกเซลล์ ได้แก่

**2.1 พลาสมา (Plasma)** ประมาณ 5% ของน้ำหนักตัว

**2.2 น้ำที่อยู่ระหว่างเซลล์ (Interstitial fluid)** ประมาณ 15% ของน้ำหนักตัว

สารน้ำในร่างกาย ประกอบด้วย น้ำ และสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ ได้แก่ อิเล็กโทรไลต์ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอาหารต่างๆ สารน้ำภายในเซลล์และภายนอกเซลล์แยกจากกันด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ และทั้ง 2 นี้ อยู่ในดุลของความดันออสโมติก โดยมีน้ำเป็นตัวผ่านเข้าออก




รูปที่ 2-14 แสดงการกระจายตัวของน้ำในร่างกาย

**ส่วนประกอบของสารน้ำภายในเซลล์และภายนอกเซลล์**

สารน้ำแต่ละส่วนมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาดูส่วนประกอบของสารน้ำภายนอกเซลล์ ซึ่งได้แก่ พลาสมา และน้ำที่อยู่ระหว่างเซลล์ พบว่า ชนิดและปริมาณของอิออนที่อยู่ในพลาสมา และน้ำที่อยู่ระหว่างเซลล์ ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ในพลาสมามีโปรตีนมากกว่า เนื่องจากผนังของหลอดเลือดฝอย ไม่ยอมให้โปรตีนผ่านเข้าออกได้ แต่ยอมให้อิเล็กโตรลัยต์ ผ่านเข้าออกได้อย่างอิสระ

สำหรับเยื่อเซลล์นั้นยอมให้อิเล็กโตรลัยต์ ผ่านเข้าออกได้ไม่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างส่วนประกอบของสารน้ำภายในเซลล์และสารน้ำภายนอกเซลล์ พบว่าโซเดียมและคลอไรด์ส่วนใหญ่อยู่นอกเซลล์ และภายในเซลล์มีโปตัสเซียมมากกว่า

**สิ่งแวดล้อมของเซลล์**

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าภายในเซลล์ทุกเซลล์มีสารน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก และรอบๆ เซลล์ก็มีน้ำอยู่รอบ ดังนั้น สิ่งแวดล้อมทั้งภายนอกและภายในเซลล์ ก็คือสารน้ำ ซึ่งประกอบด้วยน้ำ และสิ่งที่ละลายอยู่ในน้ำนั่นเอง สิ่งแวดล้อมของเซลล์จึงประกอบด้วย น้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และอิเล็กโตรลัยต์ ซึ่งจะต้องมีอุณหภูมิและ pH ที่พอเหมาะ

**น้ำ**

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของสิ่งแวดล้อม ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ น้ำมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

1. ทำให้สิ่งแวดล้อมเซลล์มีอุณหภูมิคงที่ เนื่องจากน้ำเป็นตัวนำความร้อนที่ดี สามารถรับหรือสูญเสียความร้อนได้มาก
2. น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี สามารถละลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้
3. น้ำเป็นตัวกลางทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ ภายในเซลล์
4. น้ำเป็นตัวหล่อลื่นที่มีประสิทธิภาพ เช่น ของเหลวที่อยู่ระหว่างข้อต่อ ช่วยป้องกันความฝืดที่เกิดขึ้นระหว่างเคลื่อนไหว

ร่างกายประกอบด้วยน้ำประมาณ 60% ของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำในร่างกายของแต่ละคนไม่เท่ากัน ขึ้นกับอายุและปริมาณไขมันที่สะสมไว้ในร่างกาย จำนวนน้ำในร่างกายจะลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น เด็กแรกเกิดจะมีปริมาณน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว คนที่มีไขมันมากจะมีอัตราส่วนของน้ำในร่างกายน้อยกว่าคนผอม ผู้ชายมีน้ำเป็นส่วนประกอบของร่างกายประมาณร้อยละ 65 ของน้ำหนักตัว ในขณะที่ผู้หญิงมีน้ำเป็นส่วนประกอบโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 55 ของน้ำหนักตัว เนื่องจากผู้หญิงมีไขมันใต้ผิวหนังมากกว่าผู้ชาย

น้ำในร่างกายส่วนใหญ่ได้จากน้ำและอาหารที่รับประทานเข้าไป ประมาณวันละ 2-3 ลิตร น้ำบางส่วนได้มาจากกระบวนการเผาผลาญในร่างกาย ประมาณวันละ 200 มล. น้ำในร่างกายจะถูกขับออกโดยไตเป็นปัสสาวะประมาณวันละ 1.5 ลิตร น้ำบางส่วนระเหยทางผิวหนัง ประมาณวันละ 500 มล. ทางปอดประมาณวันละ 300 มล. และขับถ่ายออกทางอุจจาระ ประมาณวันละ 200 มล. ในสภาวะปกติร่างกายได้รับน้ำจากภายนอกและขับถ่ายออกจากร่างกายสมดุลกัน

**ออกซิเจน**

ออกซิเจนมีความสำคัญสำหรับการทำงานต่างๆ ภายในเซลล์ สัตว์ชั้นสูงได้รับออกซิเจนจากบรรยากาศโดยการหายใจเข้าไป ออกซิเจนจากถุงลมปอดจะแพร่กระจายเข้าสู่กระแสเลือด ไปยังเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสร้างพลังงาน

**คาร์บอนไดออกไซด์**

คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นของเสียที่ถูกขจัดออกจากเซลล์สู่สิ่งแวดล้อมภายนอก คาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน เมื่อละลายน้ำแล้วได้เป็นกรด คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำในร่างกายจะทำหน้าที่เป็น buffer ช่วยรักษาดุลกรด-ด่าง ของร่างกาย

**อิเล็กโตรลัยต์**

อิเล็กโตรลัยต์เป็นสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำแล้วสามารถแตกตัวเป็นอิออน อิออนนี้เป็นแร่ธาตุที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นมาเองได้ ต้องได้รับจากสารอาหาร อิออนที่สำคัญ คือ $Na^+$, $K^+$ และ $Cl^-$ ซึ่งมีความสำคัญต่อร่างกายหลายประการ ได้แก่

1. $K^+$ เป็นตัวรักษา osmolarity ของไซโตพลาสซึมในเซลล์ ส่วน $Na^+$ และ $Cl^-$ เป็นตัวกำหนด osmolarity ของสารน้ำในร่างกาย

2. ส่วนประกอบของอิออนต่างๆ มีความสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา เช่น การหลั่งสารสื่อประสาท การเกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน การหดตัวของกล้ามเนื้อ การรักษาความเป็นกรด-ด่างของร่างกาย การลำเลียงขนส่งออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

3. เป็น Co-factor ของเอ็นไซม์ในปฏิกิริยาทางเคมีบางอย่างในร่างกาย

ถ้าความเข้มข้นของอิออนต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อการทำงานของเซลล์ เป็นต้นว่า ถ้ามี $K^+$ลดลง จะทำให้เกอดอัมพาตของกล้ามเนื้อ ในทางกลับกัน ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้หัวใจเต้นผิดปกติ

**อุณหภูมิ**

สิ่งแวดล้อมเซลล์จะต้องมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเซลล์ อุณหภูมิของสารน้ำที่อยู่รอบเซลล์จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิของร่างกาย ปกติอุณหภูมิของเซลล์ในส่วนต่างๆ ของร่างกายจะใกล้เคียงกัน เนื่องจากร่างกายมีระบบไหลเวียนช่วยนำและพาความร้อนกระจายไปทั่วร่างกาย ความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายส่วนใหญ่เป็นผลจากปฏิกริยาทางเคมีภายในเซลล์ ซึ่งความร้อนนี้จะถูกกำจัดออกไปจากร่างกาย เพื่อให้เกิดความสมดุล ระหว่างการผลิตความร้อนและการสูญเสียความร้อนทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ที่ประมาณ 37°C โดยมีศูนย์กลางควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่สมองส่วนไฮโปทาลามัส

อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเซลล์มีผลต่ออัตราการเกิดเมตาบอลิซึมในเซลล์ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น จะเพิ่มอัตราเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ และถ้าอุณหภูมิลดลง อัตราเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ก็จะลดลงเช่นเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 42-43°C เซลล์จะผลิตความร้อนออกมามาก จนระบบการควบคุมอุณหภูมิ ไม่สามารถปรับอุณหภูมิให้กลับเข้าสู่ปกติได้ และถ้าอุณหภูมิสูงถึง 44-45°C จะทำให้ถึงแก่ความตายได้ ส่วนในกรณีที่อุณหภูมิของร่างกายต่ำกว่าปกติมาก จนต่ำกว่า 33 °C จะทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีภายในเซลล์ลดลงอย่างมาก และทำให้ถึงแก่ความตายได้ถ้าอุณหภูมิลดลงถึง 24°C

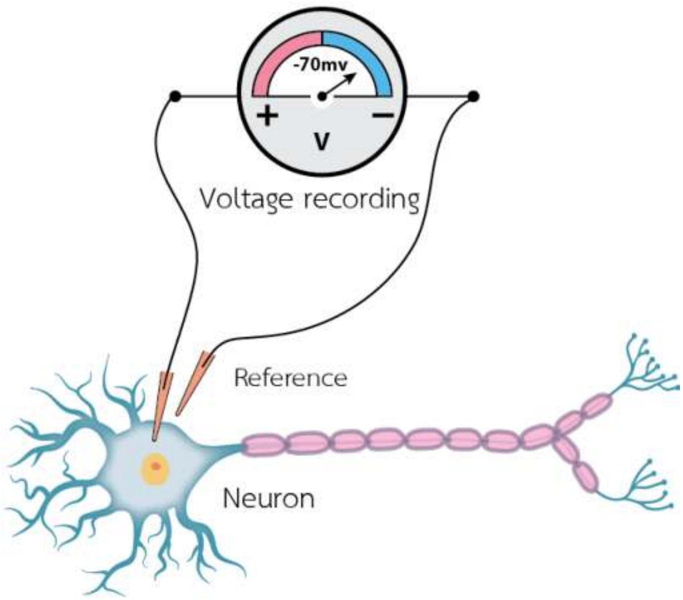
**pH ของสิ่งแวดล้อมเซลล์**

pH ของสารน้ำที่อยู่รอบเซลล์มีค่าประมาณ 7.35-7.45 ถ้า pH มีค่าสูงหรือน้อยกว่านี้ อาจเกิดอันตรายได้ เนื่องจากความเข้มข้นของไฮโดรเจน จะมีผลต่อความคงตัวของผนังเซลล์ ทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนไป ถ้า pH ของพลาสมาต่ำกว่า 7.35 จะเกิดภาวะกรด (acidosis) และถ้า pH มากกว่า 7.45 จะเกิดภาวะด่าง (alkalosis) ภาวะกรดและด่างในร่างกายมีผลเสียต่อทุกระบบในร่างกายโดยเฉพาะระบบประสาทและระบบไหลเวียน ถ้าร่างกายภาวะกรดอย่างรุนแรง จะถึงแก่ความตายได้ เนื่องจากเซลล์ประสาทไม่สามารถทำงานได้ จนเกิดอาการโคม่า เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจก็ไม่มีประสิทธิภาพในการทำงาน ทำให้หัวใจเต้นไม่สม่ำเสมอ และการบีบตัวลดลง

## ตอนที่ 4
## ศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ (Membrane potential)

ในช่วงกลางศตวรรษที่ 20 วิทยาการต่างๆ ได้พัฒนาอย่างรวดเร็ว ความก้าวหน้าที่สำคัญในการศึกษาทางสรีรวิทยาของเซลล์ คือ การที่นักวิทยาศาสตร์สามารถวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ได้ โดยการใช้ pipette ขนาดเล็กที่ทำด้วยแก้วเป็นอิเลคโทรด จากการศึกษาดังกล่าวพบว่ามีความแตกต่างศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์ระหว่างภายนอกและภายในเซลล์ในขณะพักมีค่าประมาณ -60 ถึง -70 มิลลิโวลท์ (mV) ทั้งนี้โดยถือว่าศักย์ไฟฟ้าภายนอกเซลล์เป็นศูนย์

เราเรียกความต่างศักย์นี้ว่า ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ (Membrane potential) และเรียกศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ขณะที่เซลล์อยู่ในภาวะพัก (ยังไม่ถูกกระตุ้น) ว่า Resting membrane potential




รูปที่ 2-15 แสดงการวัดศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

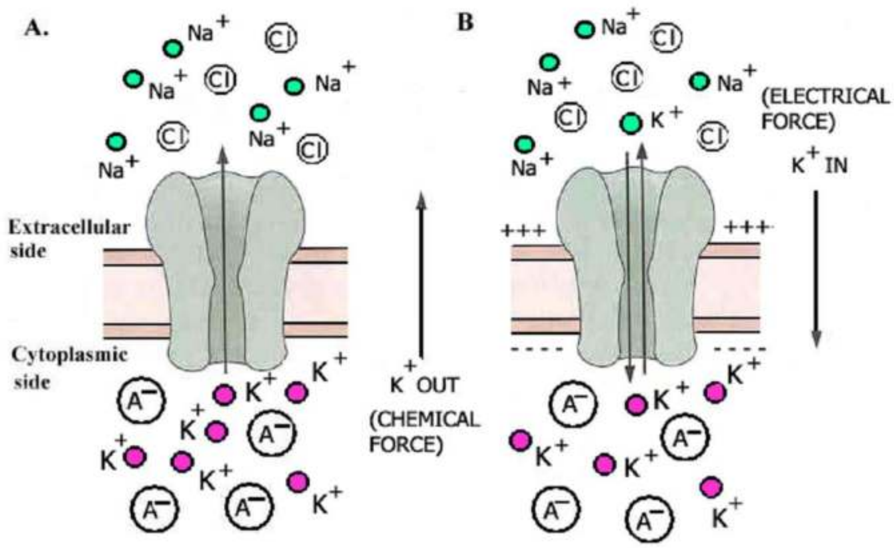
ศักย์ไฟฟ้านี้เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของประจุไฟฟ้าที่อยู่ด้านในและด้านนอกของผนังเซลล์ อันเป็นผลจากการเคลื่อนผ่านผนังเซลล์ของอณูที่มีประจุบางชนิดโดยเฉพาะ $K^+$ เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์นี้เป็นผลจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในการเคลื่อนที่ของอณูที่มีประจุไฟฟ้า(ทั้งประจุบวกและประจุลบ) ย่อมทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้านี้เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เราเรียก ภาวะที่การลดลงของความต่างศักย์ไฟฟ้า (เป็นลบน้อยลงหรือเป็นบวกมากขึ้น) ว่า Depolarization และภาวะที่มีการเพิ่มขึ้นของความต่างศักย์ไฟฟ้าว่า Hyperpolarization (เป็นลบมากขึ้น)

ในระยะที่เริ่มต้นของการศึกษาได้ใช้เซลล์ประสาทของปลาหมึกยักษ์ จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าใน ไซโตพลาสซึม มีไอออนที่มีประจุบวกรวมกันมากกว่าประจุลบ ซึ่งความจริงแล้วในไซโตพลาสซึมมีสารประจุบวกเท่ากับประจุลบ แต่มิได้แสดงไว้ สารที่มีประจุลบ ได้แก่ โปรตีน สารประกอบฟอสเฟตต่างๆ เช่น ATP และ creatine phosphate สารเหล่านี้ไม่สามารถแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ได้ แต่มีบทบาทสำคัญในการเกิดศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์

ตารางที่ 2-1 แสดงความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ของเซลล์ประสาทปลาหมึกยักษ์ (Squid giant axon)

| Ion | Intracellular (mM) | Extracellular (mM) |
|---|---|---|
| $K^+$ | 400 | 20 |
| $Na^+$ | 50 | 440 |
| $Cl^-$ | 52 | 560 |

จากความแตกต่างของความเข้มข้นทางเคมี (chemical gradient) ทำให้ในภาวะปกติ จะมีการรั่วของ $K^+$ ผ่านช่องทางไอออนบนผนังเซลล์ที่เปิดอยู่ออกสู่ภายนอกเซลล์ ในขณะที่เซลล์เสีย $K^+$ ซึ่งเป็นประจุบวก (cation) สารเคมีที่มีประจุลบ (anion) ภายในเซลล์ที่สำคัญ คือ โปรตีนและกรดอินทรีย์ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกมานอกเซลล์ได้เนื่องจากมีขนาดใหญ่ จะถูกแรงทางไฟฟ้าดึงให้เคลื่อนที่มายังด้านในของผนังเซลล์ การสูญเสีย $K^+$ ออกจากเซลล์ส่งผลให้ด้านในของผนังเซลล์มีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นลบเมื่อเทียบกับภายนอกเซลล์

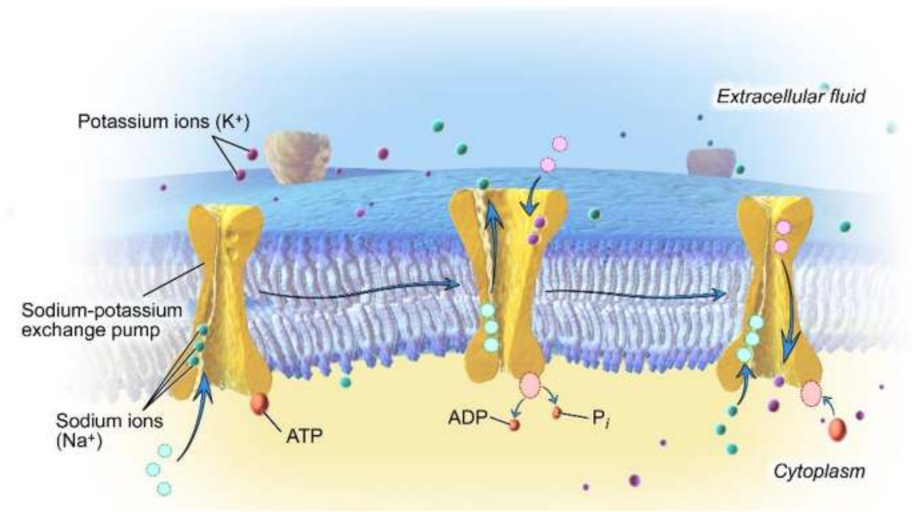



รูปที่ 2-16 การเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ของอิออนขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย 2 ประการ คือ ความแตกต่างทางเคมี และความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์ ในภาวะพักผนังของเซลล์จะยอมให้ โปตัสเซียม อิออนเคลื่อนที่ผ่าน การรั่วของโปตัสเซียมอิออนออกจากเซลล์นี้เป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์ (A) เมื่อการรั่วของโปตัสเซียมซึ่งเป็นประจุบวกเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาหนึ่ง ประจุลบที่ตกค้างอยู่ภายในเซลล์จะดึงในทิศทางตรงข้าม ให้การรั่วของของโปตัสเซียมหยุดลง (B) เรียกภาวะที่เกิดความสมดุลระหว่างแรงทางไฟฟ้าและทางเคมีนี้ว่า สมดุลไฟฟ้าเคมี (electrochemical equilibrium)

เมื่อการรั่วของ $K^+$ เป็นไปในระยะหนึ่ง ศักย์ไฟฟ้าที่ด้านในของผนังเซลล์จะเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดแรงทางไฟฟ้า (electrical force) ดึงดูดไม่ให้มีการรั่วของ $K^+$ ออกนอกเซลล์อีกต่อไป เรียกสมดุลที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากการเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ของ $K^+$ จากความแตกต่างของความเข้มข้นและแรงดึงทางไฟฟ้าเพื่อไม่ให้ $K^+$ ออกจากเซลล์นี้ว่า **สมดุลไฟฟ้าเคมี (electrochemical equilibrium)** และเรียกค่าศักย์ไฟฟ้าที่ภาวะนี้ว่า **ศักย์ไฟฟ้าสมดุล (equilibrium potential)**

**พลังงานและการรักษาศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์**

หากปล่อยให้มีการเคลื่อนที่ของ $K^+$ เกิดขึ้นเช่นนี้ตลอดเวลา ผนังเซลล์จะมีค่าความเข้มข้นของไอออนภายในเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจนทำให้สูญเสียศักย์ไฟฟ้า กล่าวคือจะเป็นลบน้อยลงเรื่อยๆ จนไม่สามารถดึงประจุบวก คือ $K^+$ ไว้ได้ ผลที่เกิดขึ้นคือเกิดการรั่วของ $K^+$ ออกจากเซลล์มากขึ้น จนทำให้เซลล์ทำงานผิดปกติ ดังนั้น ผนังเซลล์จึงพัฒนาให้มีกลไกในการผลัก $Na^+$ ออกจากเซลล์และนำ $K^+$ เข้าสู่เซลล์ โดยใช้ Sodium-potassium linked adenosine triphosphate pump ($Na^+$, $K^+$, -ATPase pump) หรือเรียกสั้นๆ ว่า โซเดียมปั๊ม โครงสร้างนี้จะนำ $Na^+$ ออกจากเซลล์ 3 ประจุ โดยแลกกับการนำ $K^+$ เข้าเซลล์ 2 ประจุ เป็นผลให้ผนังเซลล์ยังคงมีค่าความเป็นลบของศักย์ไฟฟ้าไว้ได้ เราเรียกคุณสมบัติที่ pump ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้านี้ว่า electrogenic property




รูปที่ 2-17 แสดง Sodium-potassium linked adenosine triphosphate pump ($Na^+$, $K^+$, -ATPase pump)

สรุปการเกิดศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ เป็นผลสืบเนื่องมาจากปัจจัย 2 ประการ

1. การมีไอออนลบ ที่ไม่สามารถแพร่ผ่านเยื่อเซลล์อยู่ภายในเซลล์ เช่น โปรตีน ทำให้มีการกระจายของไอออน ที่แพร่ผ่านเยื่อเซลล์ได้ไม่เท่ากัน ระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์ ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ โดยภายในเซลล์มีค่าเป็นลบ
2. ส่วนหนึ่งของศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ เกิดจากอิทธิพลของ $Na^+$, $K^+$, - ATPase pump

*******************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy* : *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

## แผนการสอน
## วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์
## (Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)

-------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** เนื้อบุผิวและเนื้อยึดต่อ (Epithelial tissue and Connective tissue)

**จำนวน** 2 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับเนื้อบุผิวและเนื้อยึดต่อของร่างกาย
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกชนิดและหน้าที่ของเนื้อเยื่อต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
2. บอกชนิดของเนื้อบุผิวได้อย่างถูกต้อง
3. เรียกชื่อเนื้อบุผิวได้อย่างถูกต้อง
4. ยกตัวอย่างเนื้อบุผิวชนิด covering type ที่สำคัญได้อย่างถูกต้อง
5. บอกหน้าที่ของเนื้อบุผิวได้อย่างถูกต้อง
6. บอกชื่อเซลล์และหน้าที่ของเนื้อยึดต่อได้อย่างถูกต้อง
7. บอกชื่อสิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ได้อย่างถูกต้อง
8. บอกหน้าที่ของเนื้อยึดต่อได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 3

**************************************

# เนื้อบุผิวและเนื้อยึดต่อ
# (Epithelial tissue and Connective tissue)

ตอนที่ 1 เนื้อบุผิว (Epithelial tissue, Epithelium)

1. ชนิดของเนื้อบุผิว
    - 1.1 Covering type
    - 1.2 Glandular epithelium
2. หน้าที่ของเนื้อบุผิว

ตอนที่ 2 เนื้อยึดต่อ (Connective tissue)

- 2.1 เซลล์ (connective tissue cells)
- 2.2 สิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ (Intercellular substance)
- 2.3 หน้าที่ของเนื้อยึดต่อ

# บทที่ 3
# เนื้อบุผิวและเนื้อยึดต่อ
# (Epithelial tissue and Connective tissue)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์จำนวนหลายพันล้านเซลล์ เซลล์ที่มีโครงสร้างและหน้าที่คล้ายคลึงกันมารวมกันเป็นเนื้อเยื่อ (tissue) หลายชนิด ซึ่งมีลักษณะพิเศษเฉพาะ เนื้อเยื่อในร่างกายของมนุษย์แบ่งได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

**1. เนื้อบุผิว (Epithelial tissue)** เป็นกลุ่มเซลล์ที่บุอยู่ตามท่อ ช่องว่าง ต่อม และพื้นผิวต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น หนังกำพร้า เยื่อบุทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ ทางเดินปัสสาวะ อวัยวะสืบพันธุ์ หลอดเลือด เป็นต้น

**2. เนื้อยึดต่อ (Connective tissue)** เป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง และค้ำจุนอวัยวะต่างๆ ให้คงรูปอยู่ได้ เช่น เส้นเอ็น พังผืดที่หุ้มอวัยวะต่างๆ กระดูกแข็ง กระดูกอ่อน และเลือด เป็นต้น

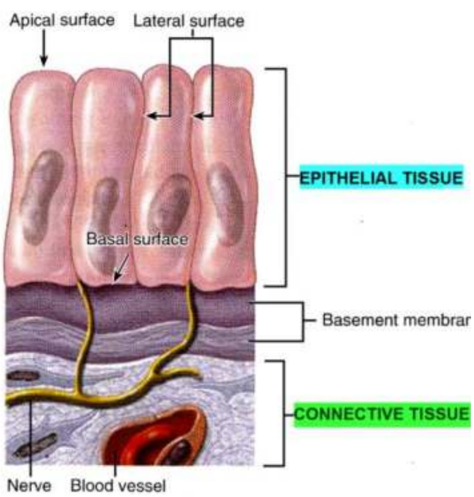
**3. เนื้อกล้ามเนื้อ (Muscular tissue)** เป็นเนื้อเยื่อที่เกาะอยู่กับกระดูก ผิวหนัง และอวัยวะภายในร่างกาย เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวจะเกิดการเคลื่อนไหว ได้แก่ กล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อหัวใจ

**4. เนื้อประสาท (Nervous tissue)** เป็นเนื้อเยื่อชนิดพิเศษ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของร่างกาย ได้แก่ สมอง ไขสันหลัง และเส้นประสาทส่วนปลาย

ในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงเนื้อเยื่อ 2 ชนิด คือ เนื้อบุผิว และเนื้อยึดต่อ สำหรับเนื้อกล้ามเนื้อและเนื้อประสาทจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

## ตอนที่ 1
## เนื้อบุผิว (Epithelial tissue, Epithelium)

เนื้อบุผิวประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ จำนวนมากเรียงชิดติดกัน เซลล์ที่อยู่ชิดติดกันนั้น จะถูกยึดต่อโดยโครงสร้างที่เรียกว่า Junctional complex ซึ่งเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นพิเศษ เพื่อให้เนื้อเยื่อมีลักษณะต่อกันเป็นแผ่น เนื้อบุผิวเป็นเนื้อเยื่อสำคัญในการปกคลุมและดาดผิวทั้งภายในและภายนอกร่างกาย เนื้อบุผิวถูกค้ำจุนโดย basement membrane ซึ่งเป็นชั้นที่ประกอบด้วยสิ่งที่มีลักษณะคล้ายวุ้นและมีเส้นใยร่างแหเล็กๆ ทำหน้าที่ยึดเนื้อบุผิวไว้กับเนื้อยึดต่อที่อยู่ด้านล่าง




รูปที่ 3-1 แสดงโครงสร้างของ epithelial tissue, basement membrane และ connective tissue

**1. ชนิดของเนื้อบุผิว** แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

**1.1 Covering type** เป็นชนิดที่พบดาดอยู่บนผิวหนังของร่างกาย ดาดในอวัยวะที่เป็นท่อ เช่น ท่อทางเดินอาหาร หลอดเลือด เป็นต้น หรือดาดอยู่ในช่องต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ช่องอก และช่องท้อง

**1.2 Glandular type** เป็นชนิดที่พบอยู่ลึกในอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย ทำหน้าที่สร้างและหลั่งสารต่าง ๆ

นอกจากนี้ ยังมีการจำแนกเนื้อบุผิวเป็นชนิดต่าง ๆ โดยอาศัยหลัก 3 ประการ คือ

**1. จำนวนชั้นของเซลล์ (number of cell layers)** ดังนี้

**1.1 Simple epithelium** : เป็นเนื้อบุผิวที่ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวชั้นเดียว

**1.2 Stratified epithelium** : เป็นเนื้อบุผิวที่ประด้วยเซลล์มากกว่า 1 ชั้น เรียงตัวซ้อนทับกัน

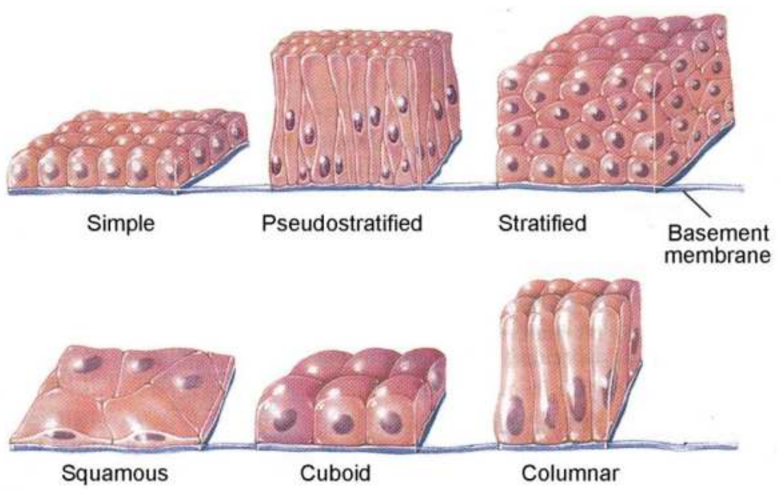
**1.3 Pseudostratified epithelium** : เป็นเนื้อบุผิวที่ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวกันชั้นเดียวแต่มีลักษณะเหมือนกับเซลล์หลายชั้น ซึ่งเกิดจากการที่นิวเคลียสของเซลล์ที่ประกอบกันเป็นเนื้อบุผิวนั้น มีการเรียงตัวในระดับสูงต่ำแตกต่างกัน

**2. รูปร่างของเซลล์ (shape of cells)** ดังนี้

**2.1 Squamous cell** เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างแบน บาง

**2.2 Cuboidal cell** เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างเหมือนลูกบาศก์ มีความสูงเท่า ๆ กับความกว้าง

**2.3 Columnar cell** เป็นเซลล์ทรงสูง มีความสูงมากกว่าความกว้างของเซลล์




รูปที่ 3-2 แสดงจำนวนชั้นของเซลล์ และรูปร่างของเซลล์

**3. การเปลี่ยนแปลงพิเศษของผนังเซลล์ด้านผิวบนของเซลล์**

**3.1 Microvilli** : เป็นส่วนของผนังเซลล์ด้านบนที่ยื่นเข้าไปในท่อกลวง มีลักษณะคล้ายนิ้วมือเล็ก ๆ ยาวประมาณ 1-2 ไมโครเมตร ในกล้องจุลทรรศน์เห็นเป็นเหมือนขนแปรงสีฟัน จึงเรียกว่า brush border ไมโครวิลไลเป็นโครงสร้างพิเศษที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของเซลล์ในการดูดซึมสารต่าง ๆ

**3.2 Stereocilia** : เป็นไมโครวิลไล ที่ยาวคล้ายกับซีเลียแต่เคลื่อนไหวเองไม่ได้

**3.3 Cilia** : เป็นผนังเซลล์ที่ยื่นออกไปเป็นแท่งยาว มีความยาว 5-10 ไมโครเมตร เคลื่อนไหวได้เองทำหน้าที่พัดโบกให้สารในท่อต่าง ๆ เคลื่อนที่ไปได้

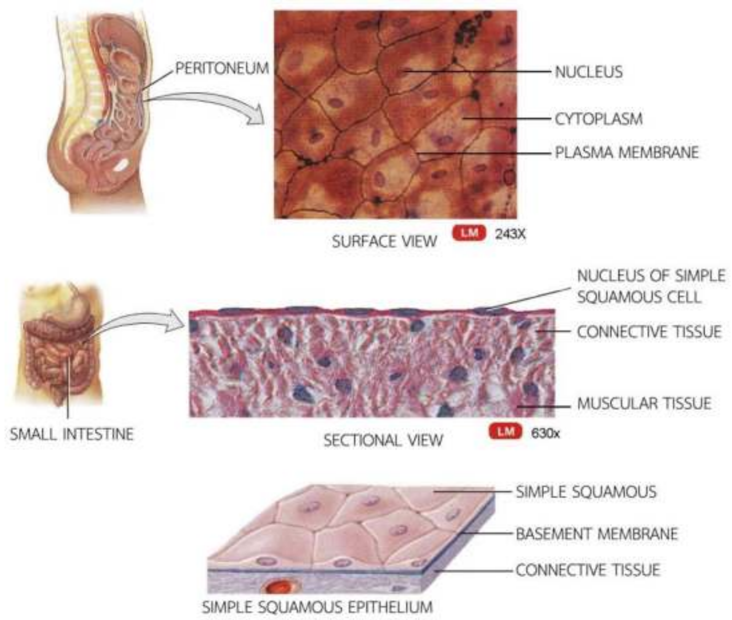
## เนื้อบุผิวชนิด Covering type

### 1. Simple epithelium

**1.1 Simple squamous epithelium** ประกอบด้วยเซลล์แบนเรียงตัวชั้นเดียว เรียกชื่อตามอวัยวะที่พบได้ ดังนี้

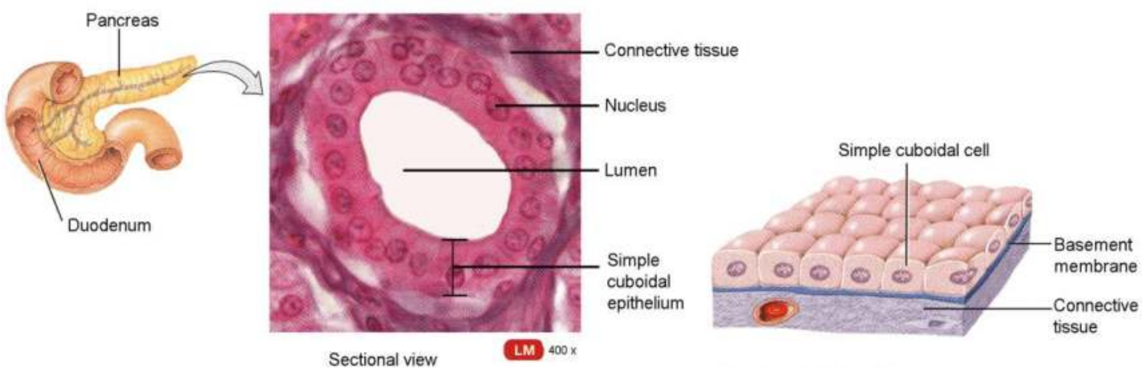
**1.1.1 Mesothelium** คือ simple squamous epithelium ที่ดาดที่เยื่อบุช่องท้อง ช่องปอด ช่องหัวใจ และห่อหุ้มอวัยวะที่อยู่ในช่องเหล่านี้

**1.1.2 Endothelium** คือ simple squamous epithelium ที่บุภายในท่อต่างๆ ของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบหัวใจและหลอดเลือด



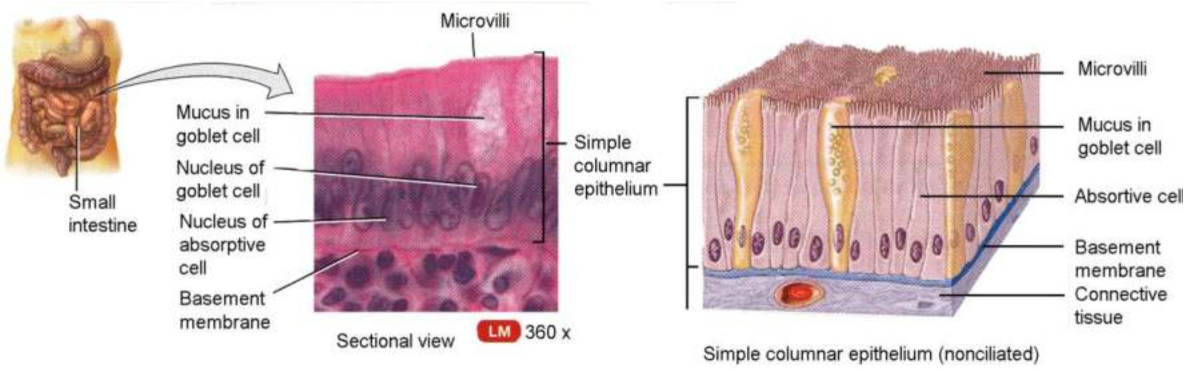

รูปที่ 3-3 แสดงเนื้อบุผิวชนิด simple squamous epithelium

**1.2 Simple cuboidal epithelium** ประกอบด้วยเซลล์รูปลูกบาศก์ มีนิวเคลียสกลม เรียงตัวชั้นเดียว พบตามท่อของอวัยวะที่ทำหน้าที่สร้าง การหลั่ง และดูดซึมสารต่างๆ ผ่านเข้าหรือออกจากร่างกาย เช่น ท่อของหน่วยไต, ท่อของต่อมน้ำลาย, ท่อของตับอ่อน




รูปที่ 3-4 แสดงเนื้อบุผิวชนิด simple cuboidal epithelium

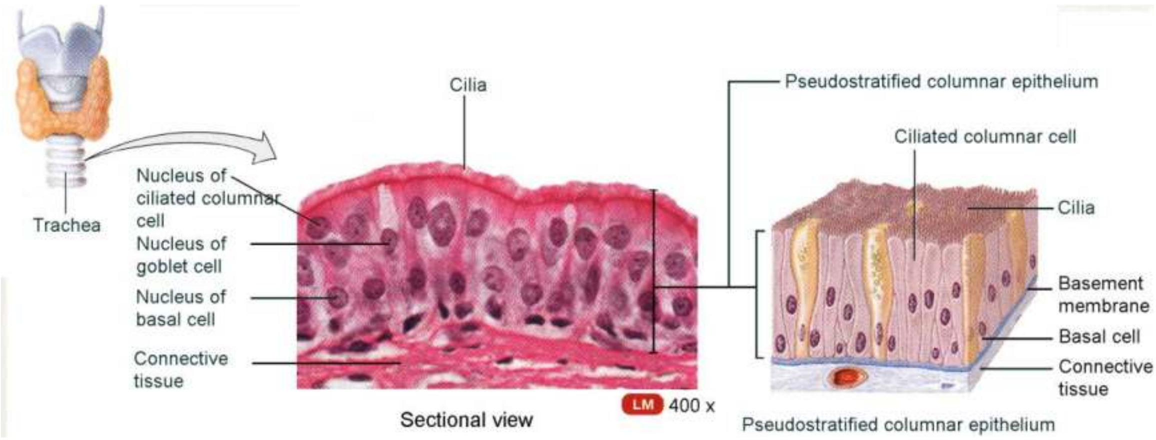
**1.3 Simple columnar epithelium** ประกอบด้วยเซลล์ทรงสูง มีนิวเคลียสรูปรี เรียงตัวชั้นเดียว ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นนิวเคลียสเรียงตัวอยู่ในระดับเดียวกัน ส่วนใหญ่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึม จึงมักพบไมโครวิลไลที่ผิวของเซลล์เสมอ เช่น พบดาดที่ผนังของลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ผนังของถุงน้ำดี ส่วนแบบที่มี ซีเลียพบที่ท่อของมดลูก




รูปที่ 3-5 แสดงเนื้อบุผิวชนิด simple columnar epithelium

**1.4 Pseudostratified columnar epithelium** ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวกันชั้นเดียวแต่เซลล์ที่ประกอบเป็นเนื้อบุผิวชนิดนี้มีความสูงไม่เท่ากัน เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาจะเห็นนิวเคลียสของเซลล์ เรียงตัวอยู่ในระดับต่าง ๆ กันทำให้มีลักษณะคล้ายกับประกอบด้วยเซลล์หลายชั้น

แบบที่มีซีเลีย จะพบที่ท่อของระบบทางเดินหายใจ ส่วนที่มี stereocilia พบที่ท่อระบบสืบพันธุ์ชาย



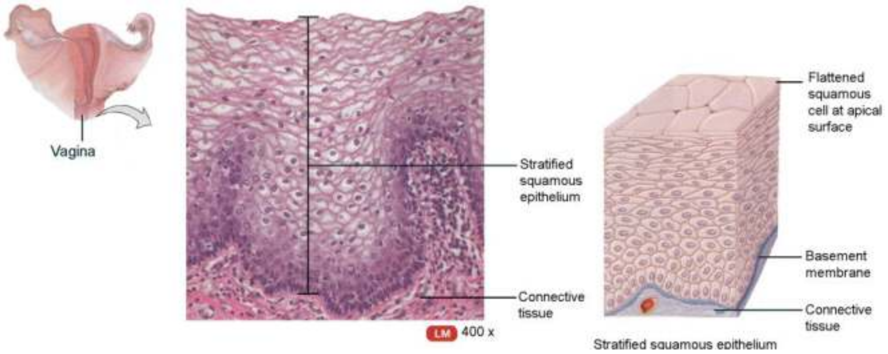

รูปที่ 3-6 แสดงเนื้อบุผิวชนิด pseudostratified columnar epithelium

**2. Stratified epithelium** ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวกันมากกว่า 1 ชั้น การแยกชนิดของเนื้อเยื่อชนิดนี้จะศึกษาจากรูปร่างของเซลล์เฉพาะที่อยู่ชั้นบน ๆ เท่านั้น เพราะเซลล์ที่อยู่ใกล้ basement membrane จะมีรูปร่างเป็นรูปลูกบาศก์แทบทั้งหมด

**2.1 Stratified squamous epithelium** ประกอบด้วยเซลล์หลายชั้น ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการเสียดสี แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

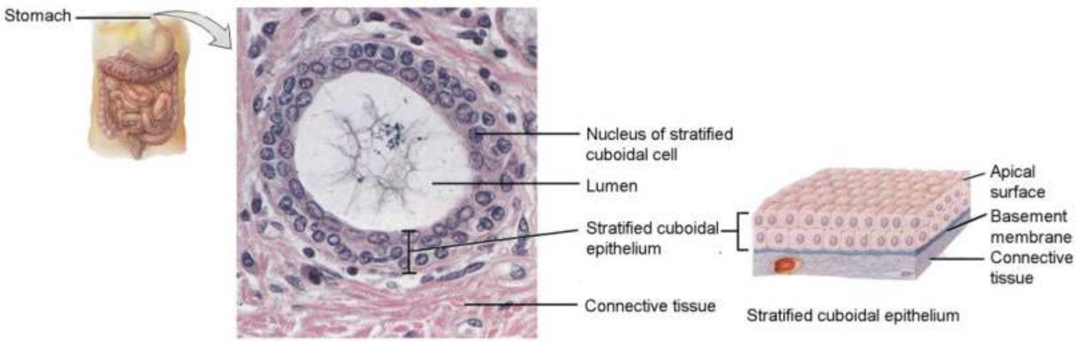
**2.1.1 Non-keratinized type** พบดาดที่ลิ้น ช่องปาก หลอดอาหาร ช่องคลอด และทวารหนัก

**2.1.2 Keratinized type** เป็นเนื้อบุผิวที่มีการสร้างสารโปรตีนชนิดหนึ่งออกมาปกคลุมเซลล์ชั้นบน เรียกว่า keratin (ขี้ไคล) พบที่ชั้นหนังกำพร้า ช่วยป้องกันการเสียดสีและการระเหยของน้ำ



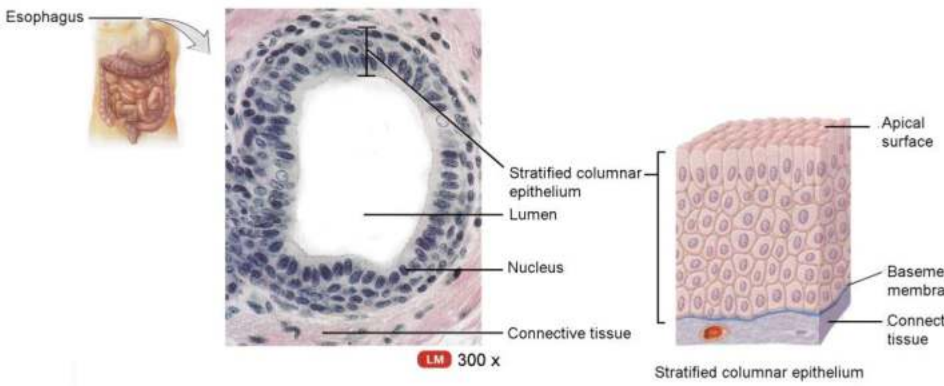

รูปที่ 3-7 แสดงเนื้อบุผิวชนิด stratified squamous epithelium

**2.2 Stratified cuboidal epithelium** ประกอบด้วยเซลล์ 2-3 ชั้น เซลล์ชั้นบนเป็นรูปเหลี่ยมลูกบาศก์ พบเฉพาะที่ท่อขนาดใหญ่ของต่อมต่าง ๆ เช่น ต่อมเหงื่อ ต่อมน้ำลาย



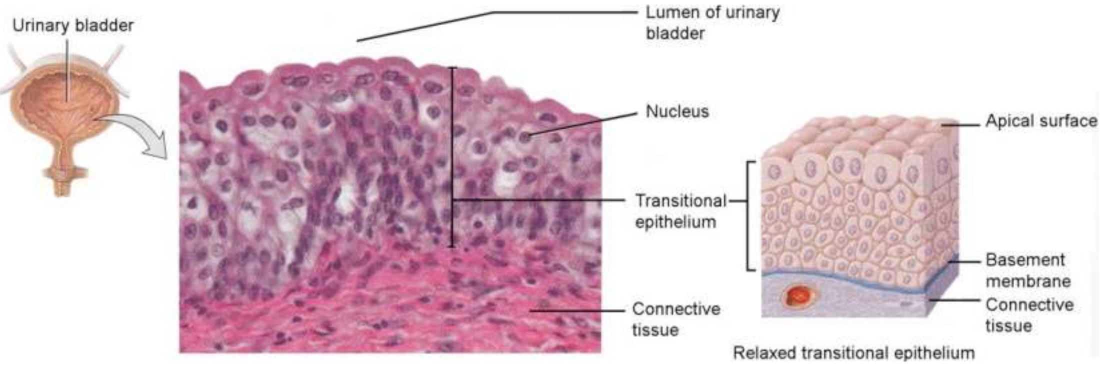

รูปที่ 3-8 แสดงเนื้อบุผิวชนิด stratified cuboidal epithelium

**2.3 Stratified columnar epithelium** ประกอบด้วยเซลล์หลายชั้น เซลล์ชั้นล่าง ๆ มักเป็นรูปหลายเหลี่ยม ส่วนเซลล์ชั้นบนเป็นเซลล์ทรงสูง พบที่ท่อปัสสาวะของเพศชาย




รูปที่ 3-9 แสดงเนื้อบุผิวชนิด stratified columnar epithelium

**2.4 Transitional epithelium** เป็นเนื้อบุผิวชนิดที่พบเฉพาะในระบบทางเดินปัสสาวะ ประกอบด้วยเซลล์รูปหลายเหลี่ยมเรียงตัวซ้อนกันหลายชั้น เซลล์ชั้นบนจะมีลักษณะค่อนข้างกลม เนื้อบุผิวชนิดนี้มีลักษณะพิเศษที่เซลล์สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเซลล์ที่มีรูปร่างกลมไปเป็นเซลล์ที่มีรูปร่างแบนได้ตามการยืดหดของอวัยวะที่เนื้อบุผิวนี้ดาดอยู่ เช่น กระเพาะปัสสาวะ




รูปที่ 3-10 แสดงเนื้อบุผิวชนิด transitional epithelium

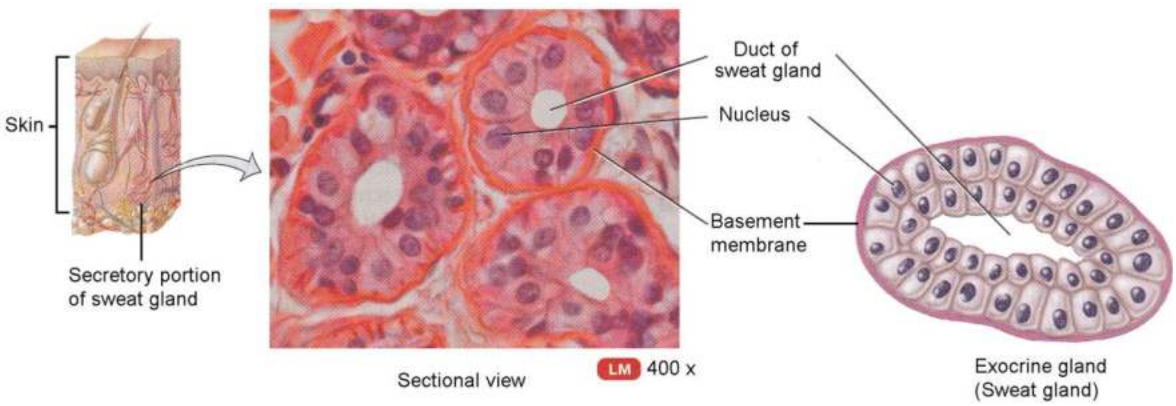
## เนื้อบุผิวชนิด Glandular epithelium

เป็นเนื้อบุผิวชนิดที่ประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ซึ่งทำหน้าที่หลั่งสารคัดหลั่ง (secretion) ส่งออกไปทางท่อหรือปล่อยออกสู่ระบบไหลเวียนโลหิตโดยตรง การเรียงตัวของเซลล์อยู่เป็นกลุ่มก้อน กลุ่มของเซลล์นี้เรียกว่า ต่อม (gland) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

**1. Exocrine gland (ต่อมมีท่อ)** ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วน คือ

**1.1 Secretory unit** เป็นส่วนต้นของต่อม ทำหน้าที่สร้างสารคัดหลั่ง (secretion) ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์เรียงตัวกัน อาจมีรูปร่างเป็นท่อ หรือเป็นกระเปาะ

**1.2 Duct portion** เป็นส่วนของท่อที่เป็นทางนำสิ่งที่ต่อมสร้างออกสู่ภายนอก




รูปที่ 3-11 แสดงโครงสร้างของต่อมมีท่อ

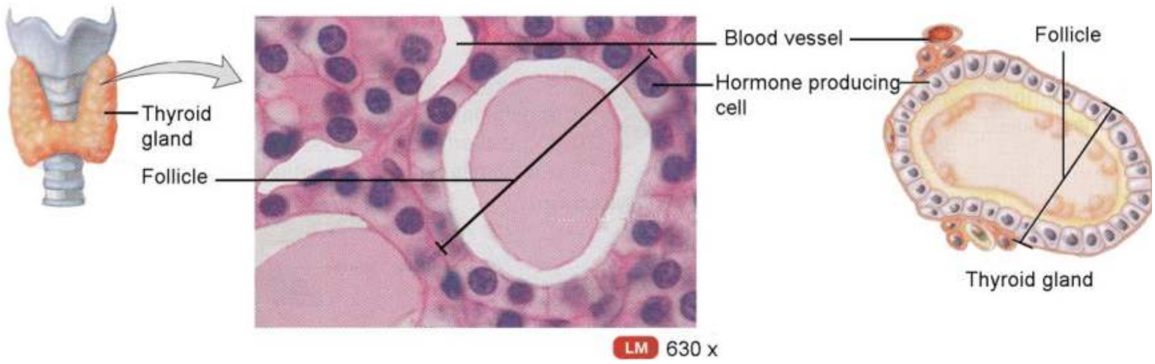
**การแบ่งชนิดของต่อมมีท่อ** แบ่งได้เป็น 3 ชนิด

1. **Mucous gland** เป็นต่อมที่สร้างสารที่มีลักษณะเหนียวเป็นเมือก เช่น ต่อมในลำไส้เล็กส่วนต้น
2. **Serous gland** เป็นต่อมที่สร้างสารน้ำใสๆ ส่วนใหญ่เป็นพวกน้ำย่อย เช่น ต่อมน้ำลาย ตับอ่อน
3. **Mixed sero-mucous gland** เป็นต่อมที่สร้างทั้งสารเหนียวข้น และที่เป็นน้ำใสปนกัน เช่น ต่อมน้ำลายใต้กรามล่าง

**2. Endocrine gland (ต่อมไร้ท่อ)** ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วน คือ

**2.1 Parenchyma (ส่วนเนื้อ)** ประกอบด้วยเซลล์ที่ทำหน้าที่ในการหลั่ง (secretory cell) เซลล์เรียงตัวหลายแบบ เช่น เป็นกลุ่ม เป็นแผ่น มีลักษณะเด่น คือมีหลอดเลือดฝอยและแอ่งเลือดเล็ก ๆ (sinusoid) แทรกอยู่เป็นจำนวนมากเพื่อนำสารที่สร้างจากต่อมไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย

**2.2 Stroma (ส่วนเปลือกหุ้ม)** ประกอบด้วยเนื้อยึดต่อที่เป็นเปลือกหุ้มต่อมและมีบางส่วนยื่นแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างส่วนเนื้อ เรียกว่า trabeculae พบมีเส้นประสาท หลอดเลือด และหลอดน้ำเหลืองแทรกอยู่




รูปที่ 3-12 แสดงโครงสร้างของต่อมไร้ท่อ

**ชนิดของต่อมมีท่อ**

1. ชนิดที่เป็นต่อมแยกอยู่เดี่ยวๆ ได้แก่ pituitary gland, thyroid gland, parathyroid gland, adrenal gland, pineal gland และ thymus gland

2. ชนิดที่รวมอยู่กับต่อมมีท่อ ได้แก่ Islets of Langerhans ของตับอ่อน, Gonads ได้แก่ รังไข่และอัณฑะ, กลุ่มเซลล์ในไต กลุ่มเซลล์ในรก

3. กลุ่มเซลล์ที่พบกระจัดกระจายอยู่ตามอวัยวะต่างๆ เช่น ในระบบทางเดินอาหาร

## หน้าที่ของเนื้อบุผิว

หน้าที่ของเนื้อบุผิว ที่สำคัญ ได้แก่

1. การป้องกัน (protection) เช่น เนื้อบุผิวที่ปกคลุมร่างกาย ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เชื้อโรคผ่านเข้าสู่ร่างกายและป้องกันการระเหยของน้ำออกจากร่างกาย

2. การดูดซึม (absorption) เช่น เนื้อบุผิวที่บุลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ดูดซึมสารอาหารต่าง ๆ ที่ร่างกายต้องการเข้าสู่หลอดเลือด, เนื้อเยื่อปอดยอมให้มีการผ่านของออกซิเจน

3. การขับสิ่งต่างๆ (secretion) เช่น ต่อมต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน เพื่อควบคุมการทำงานของร่างกาย

4. รับความรู้สึก (sensation) เช่น จมูกรับกลิ่น ผิวหนังรับความร้อน ความเย็น ความเจ็บปวด

## ตอนที่ 2
## เนื้อยึดต่อ (Connective tissue)

เนื้อยึดต่อเป็นเนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ที่อยู่กระจัดกระจาย มีสิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ซึ่งเป็นพวกเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ฝังตัวอยู่ใน amorphous intercellular substance แทรกอยู่ระหว่างเซลล์เป็นจำนวนมาก เนื้อยึดต่อมีองค์ประกอบหลัก 2 อย่าง คือ เซลล์ (connective tissue cells) และสิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ (intercellular substance) ซึ่งแบ่งย่อยเป็น 2 ชนิด คือ Fibrous intercellular substance และ Amorphous intercellular substance (ground substance)

**1. เซลล์ (connective tissue cells)** ชนิดของเซลล์ที่พบในเนื้อยึดต่อ มีดังนี้

**1.1 Fibroblasts** พบมากที่สุดในเนื้อยึดต่อ ทำหน้าที่สร้าง intercellular substances

**1.2 Macrophages** ทำหน้าที่ทำลายเชื้อโรคและสิ่งที่ร่างกายไม่ต้องการ โดยวิธี phagocytosis

**1.3 Mast cells** เป็นเซลล์ขนาดใหญ่ ภายใน cytoplasm ของเซลล์พบมีแกรนูล อยู่เป็นจำนวนมาก แกรนูลเหล่านี้บรรจุสารพวกแฮปารีน, ฮีสตามิน ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาภูมิคุ้มกัน

**1.4 Adipocytes** เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่สะสมไขมัน ภายในเซลล์บรรจุหยดไขมันขนาดใหญ่ ทำให้นิวเคลียสของเซลล์ถูกดันไปอยู่ด้านข้าง เซลล์จึงมีลักษณะคล้ายแหวน

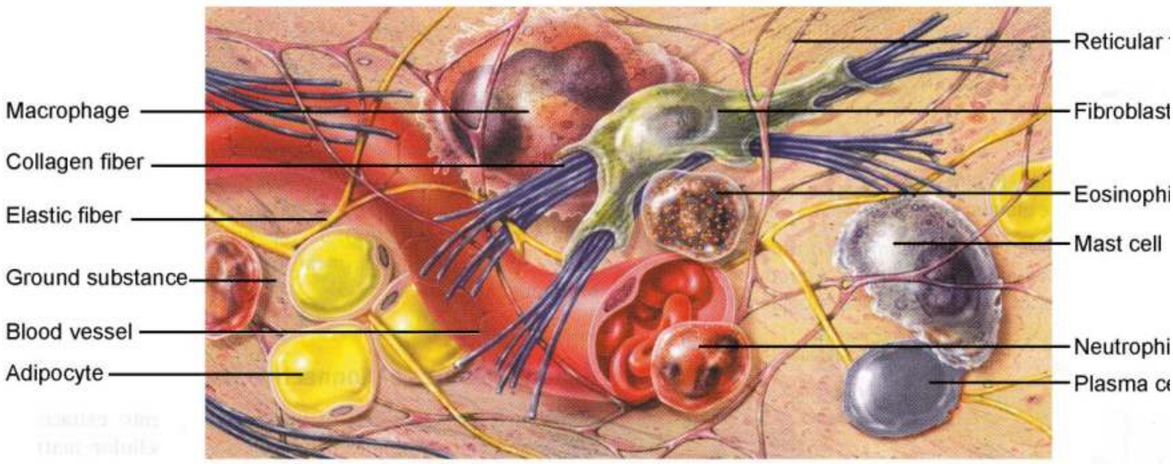
**1.5 Plasma cells** เป็นเซลล์ขนาดเล็ก ทำหน้าที่สร้างแอนติบอดี

**1.6 Mesenchymal cells** ส่วนใหญ่พบในเนื้อเยื่อของตัวอ่อน เซลล์ชนิดนี้สามารถเปลี่ยน แปลงไปเป็นเซลล์ของเนื้อยึดต่อชนิดอื่นได้

**2. สิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ (Intercellular substance)**

**2.1 Fibrous intercellular substance** เป็นพวกเส้นใยของเนื้อยึดต่อที่แทรกอยู่ระหว่างเซลล์ มีอยู่ 3 ชนิด คือ Collagenous fibers, Elastic fibers และ Reticular fibers

**2.1.1 Collagenous fibers** เป็นสารจำพวกโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นใย มีลักษณะเป็นแถบยาวตรงหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ปกติเป็นเส้นใยที่ไม่มีสีแต่เมื่อรวมกันเป็นมัดเห็นเป็นสีขาว ส่วนใหญ่ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างของร่างกาย เช่น เส้นเอ็น (tendon) พังผืด (aponeurosis) เป็นต้น




รูปที่ 3-13 แสดงเซลล์และสิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ ในเนื้อยึดต่อ

**2.1.2 Elastic fibers** มีลักษณะเป็นเส้นใยบางยาวคล้ายเส้นด้ายเล็ก ๆ พบมากที่ผนังของหลอดเลือดขนาดใหญ่ หรือตามเนื้อเยื่อที่ต้องการความยืดหยุ่น เช่น กระดูกอ่อนที่ใบหู สายเสียง

**2.1.3 Reticular fibers** เป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุด เรียงตัวเป็นร่างแหประกอบเป็นโครงร่างของอวัยวะต่าง ๆ เรียกว่า reticulum เส้นใยชนิดนี้เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในเนื้อยึดต่อของตัวอ่อน ในคนที่เติบโตเต็มที่ reticular fibers เป็นโครงร่างของอวัยวะที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างเม็ดเลือด เช่น ม้าม ไขกระดูกแดง และเป็นโครงให้เซลล์เนื้อบุผิวยึดเกาะ เช่น ในตับ ไต เป็นต้น

**2.2 Amorphous intercellular substance (ground substance)** เป็นองค์ประกอบของเนื้อยึดต่อที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เป็นที่ฝังของพวกเซลล์และเส้นใยชนิดต่าง ๆ ของเนื้อยึดต่อ ลักษณะของ ground substance จะแตกต่างไปตามชนิดของเนื้อยึดต่อ องค์ประกอบของ ground substance ส่วนใหญ่เป็นพวก glycosaminoglycan ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

1) Hyaluronic acid
2) Chondroitin sulfate
3) Dermatan sulfate
4) Keratan sulfate
5) Heparan sulfate

Ground substance ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้ของเหลวที่บรรจุสารอาหาร ออกซิเจนหรือของเสียจากเซลล์ซึมผ่านเข้าออกระหว่างเซลล์กับหลอดเลือดฝอยได้

**การแบ่งชนิดของเนื้อยึดต่อ**

1. Connective tissues proper เช่น ชั้นใต้ผิวหนัง (subcutaneous tissue) เยื่อแขวนลำไส้ (mesentery) หนังแท้ (dermis) เส้นเอ็น (tendon) ไขมัน (adipose tissue)
2. Specialized connective tissues เช่น กระดูกแข็ง (bone) กระดูกอ่อน (cartilage) และเลือด (blood)

**หน้าที่ของเนื้อยึดต่อ**

1. ยึดเกาะเนื้อเยื่อให้เกาะติดกัน
2. รองรับและห่อหุ้มเนื้อเยื่ออื่น ๆ
3. ช่วยให้อาหารแก่เนื้อเยื่อที่เกาะอยู่
4. ช่วยทำลายสิ่งแปลกปลอม
5. ซ่อมแซมเนื้อเยื่อส่วนที่สึกหรอ

**************************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and  Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** ระบบปกคลุมร่างกาย (Integumentary system)

**จำนวน** 2 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับระบบปกคลุมร่างกาย
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. นิยามคำว่าระบบปกคลุมร่างกายได้อย่างถูกต้อง
2. บอกส่วนประกอบของผิวหนังได้อย่างถูกต้อง
3. เปรียบเทียบความแตกต่างของหนังกำพร้าและหนังแท้ได้อย่างถูกต้อง
4. บอกชื่อเซลล์และหน้าที่ของหนังกำพร้าได้อย่างถูกต้อง
5. บอกหน้าที่ของต่อมเหงื่อได้อย่างถูกต้อง
6. บอกโครงสร้างและหน้าที่ของต่อมไขมันได้อย่างถูกต้อง
7. บอกโครงสร้างและหน้าที่ของขนได้อย่างถูกต้อง
8. บอกหน้าที่ของผิวหนังได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 4

*************************************

# ระบบปกคลุมร่างกาย

# ( Integumentary system)

**ตอนที่ 1 ผิวหนัง (Skin, Cutaneous membrane, Integument)**

1. หนังกำพร้า (Epidermis)
   - 1.1 ชั้นของหนังกำพร้า
   - 1.2 เซลล์ของหนังกำพร้าGlandular epithelium
2. หนังแท้ (Dermis)

**ตอนที่ 2 อวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง (Skin appendages)**

2.1 ต่อมเหงื่อ (Sweat gland)

2.2 ต่อมไขมัน (Sebaceous gland)

2.3 ผม/ขน (Hair)

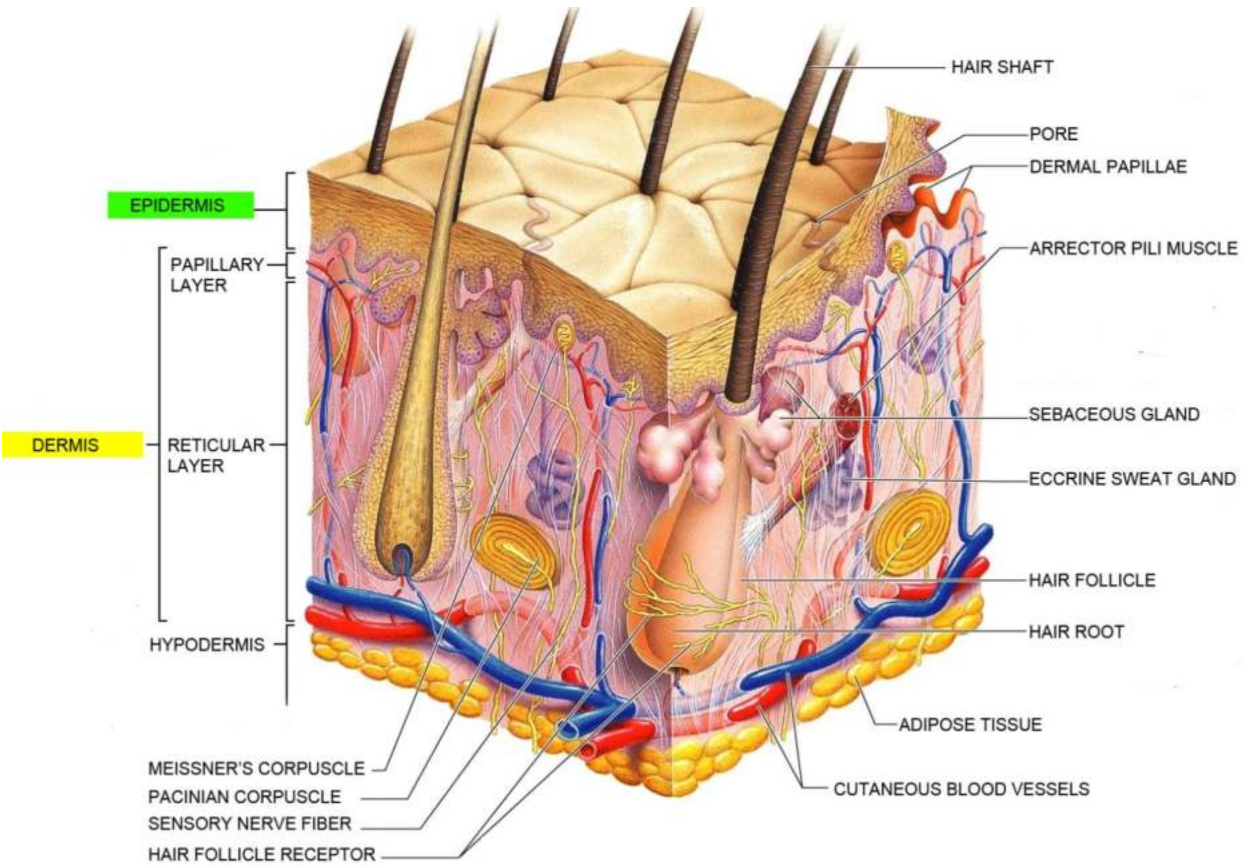
2.4 เล็บ (Nail)

# บทที่ 4
# ระบบปกคลุมร่างกาย (Integumentary system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

ระบบปกคลุมร่างกาย หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วยผิวหนัง (skin) และอวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง (skin appendages) ซึ่งได้แก่ ขน ผม เล็บ ต่อมไขมัน และต่อมเหงื่อ

ผิวหนังเป็นอวัยวะที่ใหญ่ที่สุดในร่างกายมีพื้นที่ผิวประมาณ 1.8 ตารางเมตรในผู้ชาย และประมาณ 1.5 ตารางเมตรในผู้หญิง ความหนาของผิวหนังอยู่ระหว่าง 0.5-6 มิลลิเมตร มีความหนาแตกต่างกันในแต่ละที่ ผิวหนังที่บางอยู่บริเวณหนังตาและเยื่อแก้วหู ผิวหนังที่หนาอยู่บริเวณฝ่ามือ และฝ่าเท้า




รูปที่ 4-1 แสดงโครงสร้างของผิวหนัง (skin) และอวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง (skin appendages)

**ระบบปกคลุมร่างกาย แบ่งเป็น 2 ส่วน** ได้แก่

**1. ผิวหนัง (Skin, Cutaneous membrane, Integument)** ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น คือ

**1.1 Epidermis (หนังกำพร้า)** อยู่ชั้นบน ประกอบด้วยเนื้อบุผิว Stratified squamous epithelium ชนิดที่มีเคอราติน (keratinized type) ผิวหนังชั้นนี้เจริญมาจากเนื้อเยื่อชั้นนอกในระยะตัวอ่อน

**1.2 Dermis (หนังแท้)** อยู่ชั้นล่าง เป็นเนื้อยึดต่อที่เจริญมาจากเนื้อเยื่อชั้นกลางในระยะตัวอ่อน

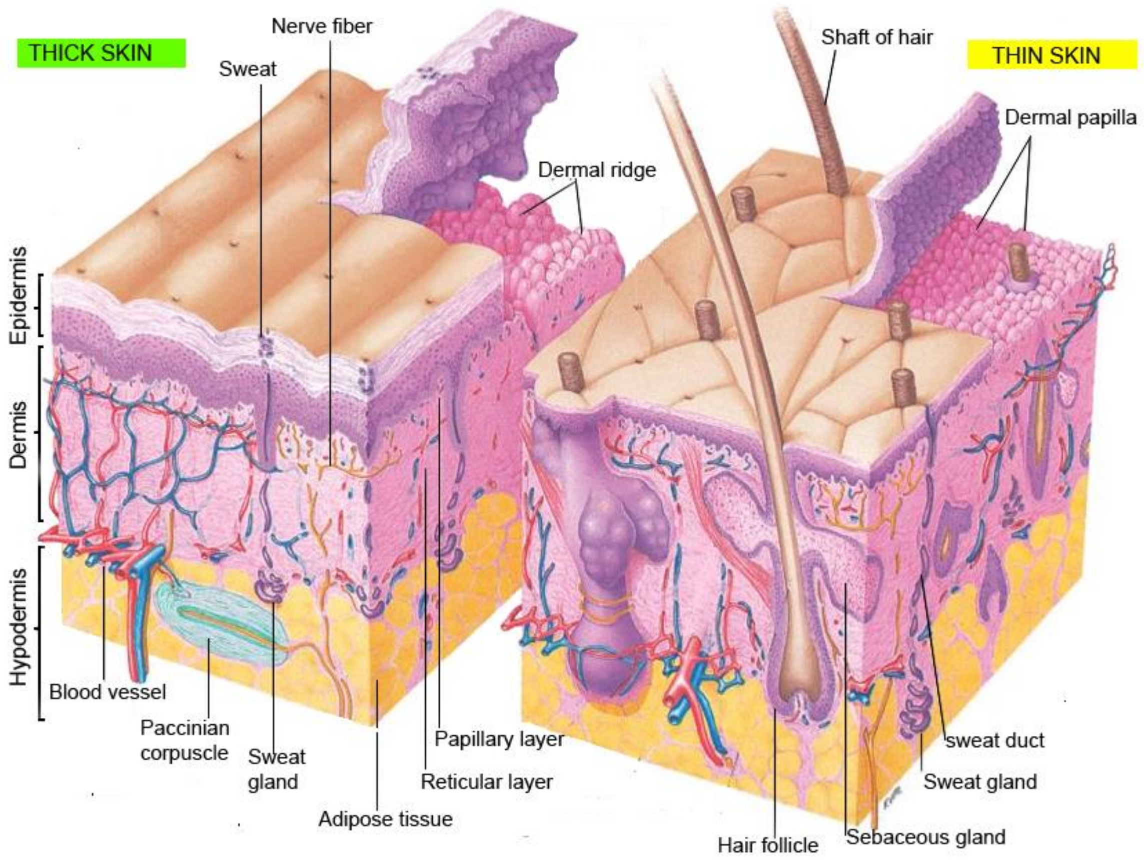
ใต้ชั้นหนังแท้จะเป็นชั้นใต้ผิวหนัง (hypodermis หรือ subcutaneous tissues) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อยึดต่อที่อยู่กันอย่างหลวมๆ และไขมัน ซึ่งมีจำนวนมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละส่วนของร่างกาย ชั้นนี้ไม่นับรวมเป็นชั้นของผิวหนัง

**2. อวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง (Skin appendage)** ได้แก่ ต่อมเหงื่อ (sweat gland) ต่อมไขมัน (sebaceous gland) ผม/ขน (hair) และเล็บ (nail)

## ตอนที่ 1
## ผิวหนัง (Skin, Cutaneous membrane, Integument)

### 1. หนังกำพร้า (Epidermis)

อยู่ด้านบนสุด สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง ไม่มีหลอดเลือดมาเลี้ยง และได้รับอาหารจากหนังแท้ เซลล์ในชั้นหนังกำพร้า มีการสร้างใหม่ตลอดเวลาจากเซลล์ที่อยู่ชั้นลึกที่เคลื่อนขึ้นสู่ชั้นบน หนังกำพร้าแบ่งเป็น 2 ชนิดตามความหนา คือ **หนังกำพร้าชนิดหนา (thick epidermis)** พบที่ฝ่ามือ และฝ่าเท้า ชั้นนี้ไม่มีขน รูขุมขน ต่อมไขมัน แต่มีต่อมเหงื่อจำนวนมาก และ**หนังกำพร้าชนิดบาง (thin epidermis)** พบบริเวณอื่นๆ ของร่างกาย เช่น ลำตัว แขนขา เป็นต้น ชั้นนี้มีอวัยวะที่เกิดจากผิวหนังครบ




รูปที่ 4-2 แสดงชั้นหนังกำพร้า ชนิดหนา (ซ้าย) และ หนังกำพร้าชนิดบาง (ขวา)

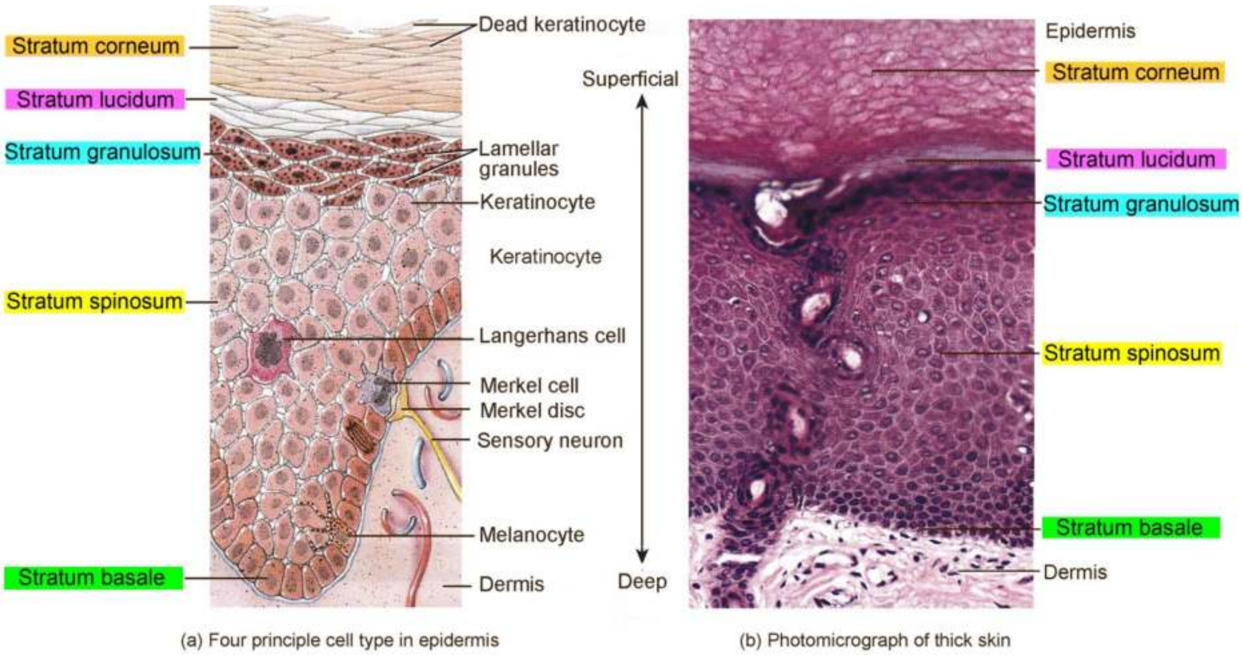
### 1.1 ชั้นของหนังกำพร้า

ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ แยกได้เป็น 4 ชั้น เรียงจากชั้นล่างขึ้นมาชั้นบน ดังนี้

**1) Stratum basale (Stratum germinativum)** เป็นชั้นล่างสุดของหนังกำพร้าประกอบ ด้วยเซลล์ทรงเหลี่ยมลูกบาศก์ เรียกว่า basal cell เรียงตัวกันชั้นเดียว วางตัวอยู่บน basement membrane เซลล์ในชั้นนี้มีการเจริญแบ่งตัวมาก เพื่อเพิ่มจำนวนและเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์ในชั้นบน

**2) Stratum spinosum** ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวซ้อนกัน 5-10 ชั้น เซลล์มีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม เรียกเซลล์ในชั้นนี้ว่า prickle cells (spinous cells) เนื่องจากพบว่าตามขอบของเซลล์ มีลักษณะคล้ายหนามยื่นไปยึดกับเซลล์ข้างเคียง เรียกส่วนที่ยึดระหว่างเซลล์นี้ว่า intercellular bridges เซลล์ในชั้นนี้มีการเคลื่อนตัวขึ้นข้างบนเพื่อทดแทนเซลล์ชั้นบน ๆ ที่ลอกหลุดออกเป็นขี้ไคล

อาจเรียกชั้น stratum basale รวมกับชั้น stratum spinosum ว่า stratum malpighii




รูปที่ 4-3 แสดงชั้นต่าง ๆ ของหนังกำพร้า

**3) Stratum granulosum** ประกอบด้วยเซลล์ค่อนข้างแบน ขนาดและรูปร่างไม่แน่นอน เรียงตัวกัน 3-5 ชั้น เรียกว่า granular cell เนื่องจากภายใน cytoplasm ของเซลล์บรรจุแกรนูล (granules) จำนวนมากเรียกว่า keratohyalin granules ซึ่ง keratohyalin granules เกี่ยวข้องในกระบวนการสร้าง keratin (ชั้นขี้ไคล) นอกจากนี้เซลล์ในชั้นนี้ยังสร้างแกรนูล ที่เรียกว่า membrane coating granules ซึ่งบรรจุสารที่จะปล่อยออกมานอกเซลล์ เพื่อทำหน้าที่เคลือบระหว่างเซลล์ ทำให้เซลล์ยึดติดกันได้ดีขึ้น และช่วยป้องกันการเสียน้ำ

**4) Stratum corneum** เป็นชั้นบนสุดของ epidermis ประกอบด้วยเซลล์มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ จำนวนชั้นของเซลล์แตกต่างกันตั้งแต่ 5-10 ชั้น จนถึงหลายร้อยชั้น ขึ้นกับบริเวณต่าง ๆ ของผิวหน้า ในระดับกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเซลล์ในชั้นนี้มีลักษณะเหมือนเซลล์ตายหรือเซลล์ที่เสื่อม โดยเฉพาะเซลล์ที่อยู่ชั้นบนสุดนั้นองค์ประกอบอื่น ๆ ภายในเซลล์แตกสลายไปหมด เรียกว่าเกิด desquamation เซลล์เหล่านี้เมื่อลอกหลุดเป็นขี้ไคลจะถูกเซลล์ที่อยู่ใต้ถัดลงไปแบ่งตัวขึ้นมาแทนที่

ในผิวหนังที่มีชั้น stratum corneum หนาๆ จะมีชั้นใสโปร่งแสงเห็นเป็นแถบสีชมพูจางอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้น stratum granulosum และ stratum corneum เรียกว่า ชั้น stratum lucidum ซึ่งเป็นชั้นของสารที่ถูกปล่อยออกมาจาก membrane coating granules ชั้นนี้ไม่พบในหนังกำพร้าชนิดบาง

### 1.2 เซลล์ของหนังกำพร้า

หนังกำพร้าประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด ได้แก่

**1. Keratinocyte** เป็นเซลล์ที่พบมากที่สุด เซลล์นี้มีความสามารถในการสร้าง keratin (ขี้ไคล) กระบวนการที่เซลล์ในชั้น Stratum basale มีการแบ่งตัวเปลี่ยนแปลงไปจนกลายเป็นเซลล์ตายที่บรรจุ keratin ในชั้น stratum corneum เรียกว่า keratinization

**2. Melanocyte** เป็นเซลล์รูปแฉกดาว ทำหน้าที่สร้างเมลานิน (melanin) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสีที่ผิวหนัง ผมและม่านตา

**3. Langerhans cell** เป็นเซลล์รูปแฉกดาว ทำหน้าที่เก็บกินสิ่งแปลกปลอมของผิวหนัง พบได้ทั่วไปในชั้นหนังกำพร้า หนังแท้ และต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง

**4. Merkel cell** มีหน้าที่เกี่ยวกับการรับความรู้สึกสัมผัส

## 2. หนังแท้ (Dermis)

เป็นชั้นของเนื้อยึดต่อที่อยู่ลึกถัดลงมาจากชั้นหนังกำพร้า ตรงบริเวณรอยต่อของทั้ง 2 ชั้น จะมีส่วนของชั้นหนังกำพร้าที่ยื่นลงไปในชั้นหนังแท้ เรียกว่า epidermal ridge และเรียกส่วนของหนังแท้ที่แทรกอยู่ระหว่างหนังกำพร้า dermal papillae เพื่อเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างหนังกำพร้ากับหนังแท้ ทำให้ยึดติดกันได้แข็งแรงมากขึ้น ใต้ต่อชั้นหนังแท้จะเป็นชั้นที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไขมันเรียกว่า Subcutaneous หรือ hypodermis ซึ่งมีความหนาแตกต่างกันไปในแต่ละส่วน ชั้น Subcutaneous นี้ ไม่นับรวมเป็นชั้นของผิวหนัง

## ตอนที่ 2
## อวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง (Skin appendages)

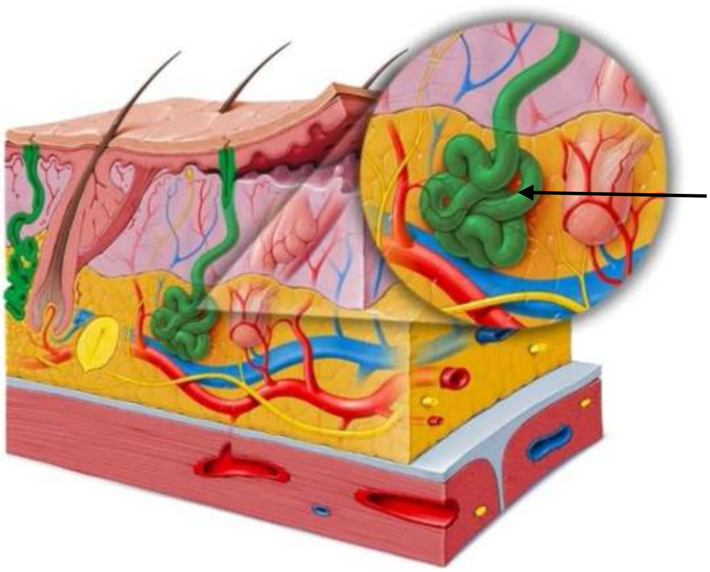
อวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง ได้แก่ ต่อมเหงื่อ (sweat gland) ต่อมไขมัน (sebaceous gland) ผม/ขน (hair) เล็บ (nail)

### 2.1 ต่อมเหงื่อ (Sweat gland)

ต่อมเหงื่อพบกระจายทั่วไปตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

**1.1 Eccrine sweat gland** เป็นต่อมเหงื่อชนิดที่พบทั่ว ๆ ไปตามผิวของร่างกาย ยกเว้นบริเวณริมฝีปาก อวัยวะเพศชาย (penis) คลิตอลิส (clitoris) และแคมใน (labia minora) เหงื่อที่สร้างขึ้นจากต่อมชนิดนี้ มีลักษณะเป็นน้ำใสและถูกส่งผ่านทางท่อออกสู่ผิวหนังโดยตรง หน้าที่ของต่อมเหงื่อชนิดนี้เกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ภายใต้การควบคุมของระบบประสาทอัตโนมัติ

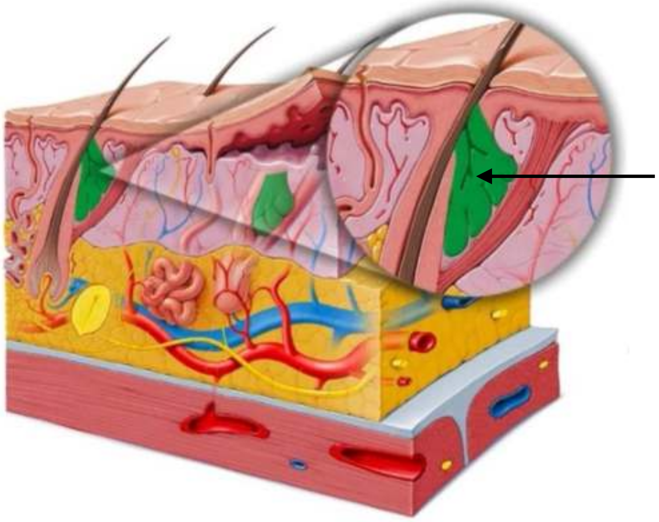
**1.2 Apocrine sweat gland** เป็นต่อมเหงื่อที่พบบริเวณ รักแร้ อวัยวะสืบพันธุ์ รอบๆ หัวนม ต่อมชนิดนี้สร้างสารที่มีลักษณะเหนียวข้น ขุ่นขาวคล้ายน้ำนม ไม่มีกลิ่น แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับแบคทีเรียที่ผิวหนังจะกลายเป็นสารที่มีกลิ่น ท่อของต่อมชนิดนี้มักเปิดเข้าสู่โคนขน การทำงานของต่อมชนิดนี้ถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ ในสัตว์จะพบต่อมชนิดนี้กระจายอยู่ทั่วไปตามร่างกาย มีความสำคัญเกี่ยวกับพฤติกรรมทางเพศและการแสดงอาณาเขต แต่ในคนยังไม่ทราบความสำคัญชัดเจน



รูปที่ 4-4 แสดงต่อมเหงื่อ Eccrine sweat gland และ Apocrine sweat gland

### 2.2 ต่อมไขมัน (Sebaceous gland)

ต่อมไขมันเป็นต่อมที่มีความสัมพันธ์กับขน โดยมีท่อสั้น ๆ ไปเปิดที่โคนของขนหรือผม ท่อที่เปิดออกสู่ผิวหนังโดยตรงมักยาวกว่า ต่อมไขมันพบได้ทั่วไปตามร่างกาย ไขมันที่สร้าง เรียกว่า sebum เมื่อหลั่งออกมาจะเคลือบขนและผิวหนังบริเวณนั้นป้องกันไม่ให้เปียกน้ำ ซึ่งไม่มีความสำคัญในมนุษย์ การทำงานของต่อมไขมันถูกควบคุมโดยฮอร์โมนเพศ ก่อนวัยรุ่นต่อมไขมันจะมีขนาดเล็กมากเมื่อถึงวัยรุ่นการทำงานและขนาดต่อมไขมันจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมนแอนโดรเจน (androgen)



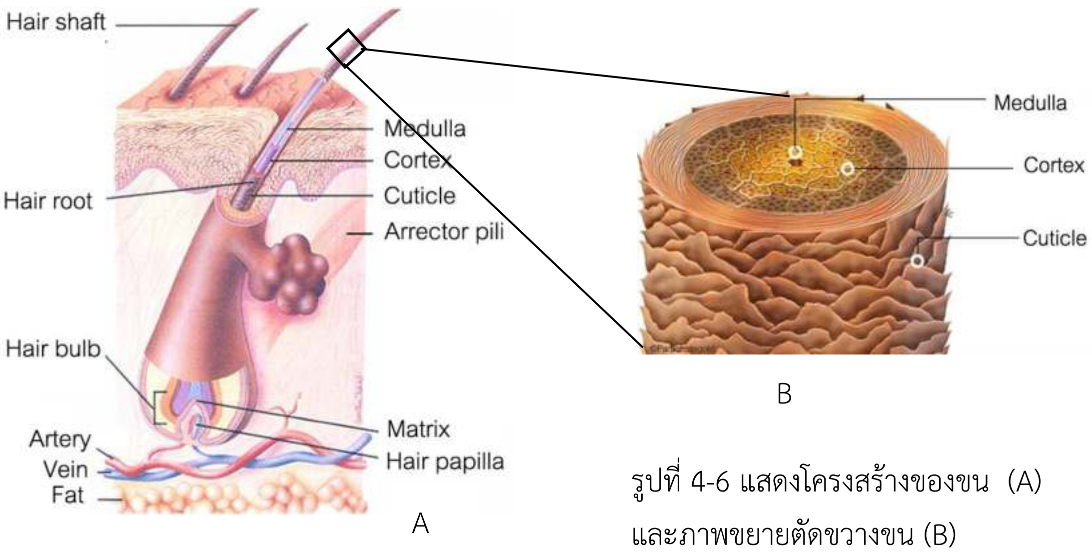
รูปที่ 4-5 แสดงต่อมไขมัน (Sebaceous gland)

## 2.3 ผม/ขน (Hair)

ขนกำเนิดมาจากต่อมขน (hair follicles) ซึ่งเกิดจากชั้นหนังกำพร้าที่เว้าลึกลงไปในชั้นหนังแท้ ส่วนโคนของต่อมขนมีลักษณะเป็นกระเปาะ มีชั้นหนังแท้ เรียกว่า hair papilla เป็นแกน และมีชั้นหนังกำพร้าหุ้มล้อมรอบเป็นส่วนของ hair matrix รูปร่างลักษณะของต่อมขนนั้นแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณ ซึ่งทำให้ขนที่สร้างนั้นมีลักษณะต่างกันด้วย เช่น ต่อมขนบริเวณหนังศีรษะ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกยาวตั้งตรงซึ่งสร้างผมยาว ส่วนต่อมขนบริเวณลำตัวมีลักษณะค่อนข้างสั้นและอ้วนกว่า ซึ่งจะสร้างขนที่สั้นและละเอียดอ่อน

**โครงสร้างของขน** ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

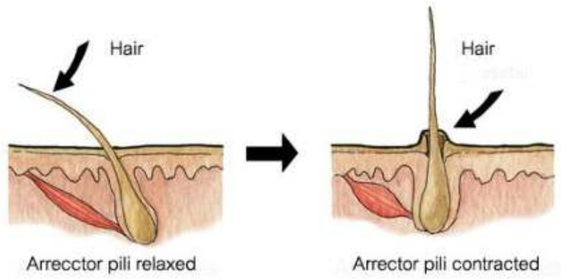
1. Outer cuticle เป็นชั้นนอกสุด มีองค์ประกอบเป็นเคอราตินอย่างแข็ง ลักษณะเป็นเกล็ดบาง
2. Cortex ประกอบด้วยเซลล์แบนหลายชั้น ภายในเซลล์เหล่านี้บรรจุพวกเคอราตินอย่างแข็ง และแกรนูลที่ให้สี (pigment granules)
3. Medulla ประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะเหมือนเซลล์ที่เสื่อมเห็นเป็นถุงน้ำมากมายอยู่ภายในเซลล์ เซลล์เหล่านี้บรรจุเคอราตินอย่างอ่อน




รูปที่ 4-6 แสดงโครงสร้างของขน (A) และภาพขยายตัดขวางขน (B)

สีของขนเกิดจากเซลล์ melanocytes บริเวณ hair matrix สร้างเม็ดสีส่งไปไว้ในชั้น cortex และ medulla ของขน

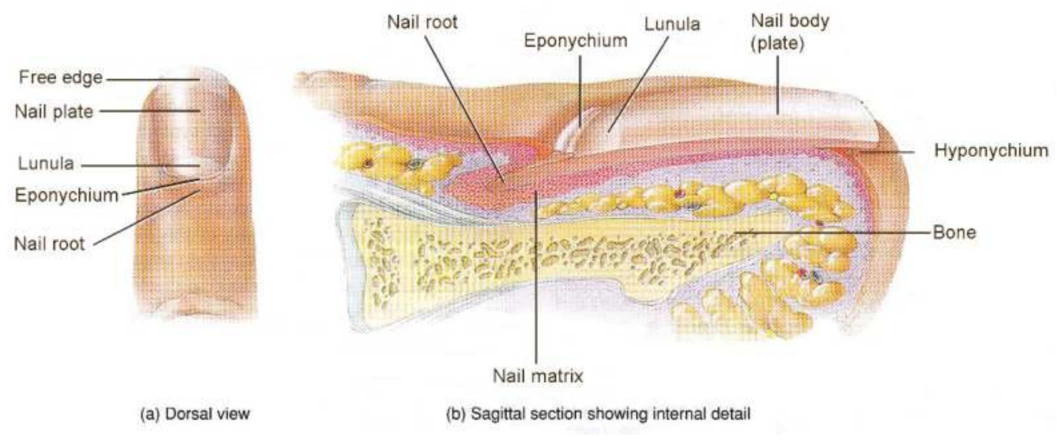
บริเวณชั้นนอกสุดของ hair follicle จะมีเนื้อยึดต่อหุ้มล้อมรอบและมีกล้ามเนื้อเรียบเกาะจากเนื้อยึดต่อไปยัง dermal papilla เรียกว่ากล้ามเนื้อ arrector pili เมื่อกล้ามเนื้อนี้หดตัวจะทำให้ขนตั้งชันและผิวหนังบุ๋มลงไปเกิดอาการที่เรียกว่า ขนลุก การทำงานของกล้ามเนื้อนี้ถูกควบคุมโดยระบบประสาทซิมพาเธติก ซึ่งจะถูกกระตุ้นด้วยความเย็นหรือความกลัว




รูปที่ 4-7 แสดงกล้ามเนื้อ arrector pili หดตัว ทำให้เกิดอาการขนลุก

## 2.4 เล็บ (Nail)

แผ่นเล็บ (nail plate) เป็นแผ่นที่คลุมอยู่บนผิวหนังบริเวณปลายนิ้วมือและนิ้วเท้า เรียกส่วนที่รองรับแผ่นเล็บนี้ว่า nail bed ตรงโคนของแผ่นเล็บจะมีลักษณะเป็นรูปพระจันทร์เสี้ยว เรียกว่า lunula เซลล์เนื้อบุผิวที่อยู่ใต้ต่อ lunula เป็นส่วนที่ทำหน้าที่สร้างแผ่นเล็บ เรียกเนื้อบุผิวบริเวณนี้ว่า nail matrix แผ่นเล็บจะเจริญงอกยาวไปจาก nail matrix โดยค่อย ๆ ยื่นยาวออกไปทางปลายนิ้ว ส่วน nail bed นั้น ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการสร้างเล็บ แต่มีหน้าที่รองรับแผ่นเล็บ




รูปที่ 4-8 แสดงส่วนต่าง ๆ ของเล็บ (nail) ด้านบน (A) และด้านข้าง (B)

**หน้าที่ของผิวหนัง** โดยทั่วไป ผิวหนังมีหน้าที่ ดังนี้

**1. การป้องกัน (Protection)** ผิวหนังช่วยป้องกันอันตรายจากแสง ultraviolet และความร้อนไม่ให้ผ่านเข้าสู่ร่างกายมากเกินไป และช่วยป้องกันไม่ให้มีการระเหยของน้ำออกจากร่างกายมากเกินไป นอกจากนี้ผิวหนังยังเป็นด่านป้องกันเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ ไม่ให้ผ่านเข้าสู่ร่างกาย

**2. การรับความรู้สึก (Sensation)** ผิวหนังประกอบด้วยอวัยวะรับความรู้สึกมากมายหลายชนิด เช่น อวัยวะรับความรู้สึกเกี่ยวกับการสัมผัส (touch) ความเจ็บปวด (pain) อุณหภูมิ (temperature)

**3. ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย** โดยการทำงานของต่อมเหงื่อ กลุ่มร่างแหของหลอดเลือดฝอยและไขมันที่อยู่ในชั้นใต้ผิวหนัง ทำให้อุณหภูมิของร่างกายคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม

**4. ควบคุมการเผาผลาญของร่างกาย** โดยเป็นแหล่งเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปของชั้นไขมันใต้ผิวหนัง และเซลล์ในชั้นหนังกำพร้ายังช่วยสร้างวิตามินดีให้กับร่างกายด้วย

***********************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบโครงร่าง
(Anatomy and Physiology of Skeletal system)

**จำนวน** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับ ส่วนประกอบทางเคมีของกระดูก มหกายวิภาคของกระดูก จุลกายวิภาคของกระดูกแข็ง ชนิดของกระดูก คำที่ใช้อธิบายส่วนต่างๆ ของกระดูก ข้อต่อ และการเคลื่อนไหว กระดูกในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และ หน้าที่ของกระดูก
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. ความหมายของคำว่าโครงร่างได้อย่างถูกต้อง
2. บอกส่วนประกอบของกระดูกสดได้อย่างถูกต้อง
3. บอกโครงสร้างของกระดูกแข็งได้อย่างถูกต้อง
4. ชื่อบอกของไขกระดูกและตำแหน่งที่พบได้อย่างถูกต้อง
5. บอกชื่อส่วนต่างๆ ของกระดูกแข็งได้อย่างถูกต้อง
6. จำแนกชนิดของกระดูก (classification) ได้อย่างถูกต้อง
7. บอกจำนวนกระดูกแข็งที่ประกอบเป็นโครงร่างและการแบ่งชนิดของกระดูกที่ประกอบเป็นโครงร่างได้อย่างถูกต้อง
8. บอกชื่อกระดูกของกระดูกแกนและหน้าที่ได้อย่างถูกต้อง
9. บอกชื่อกระดูกของกระดูกรยางค์และหน้าที่ได้อย่างถูกต้อง
10. บอกหน้าที่ของกระดูกได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย

4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 5

****************************************

# ระบบโครงร่าง
# (Skeletal system)

**ตอนที่ 1 ระบบโครงร่าง**

1.1 ส่วนประกอบทางเคมีของกระดูก
1.2 มหกายวิภาคของกระดูก
1.3 จุลกายวิภาคของกระดูกแข็ง
1.4 ชนิดของกระดูกแข็ง
1.5 เซลล์ของกระดูกแข็ง
1.6 การเจริญเติบโตของกระดูกแข็ง
1.7 ชนิดของกระดูกแข็ง
1.8 ข้อต่อ
1.9 คำที่ใช้อธิบายส่วนต่างๆ ของกระดูก

**ตอนที่ 2 กระดูกในส่วนต่างๆ ของร่างกาย**

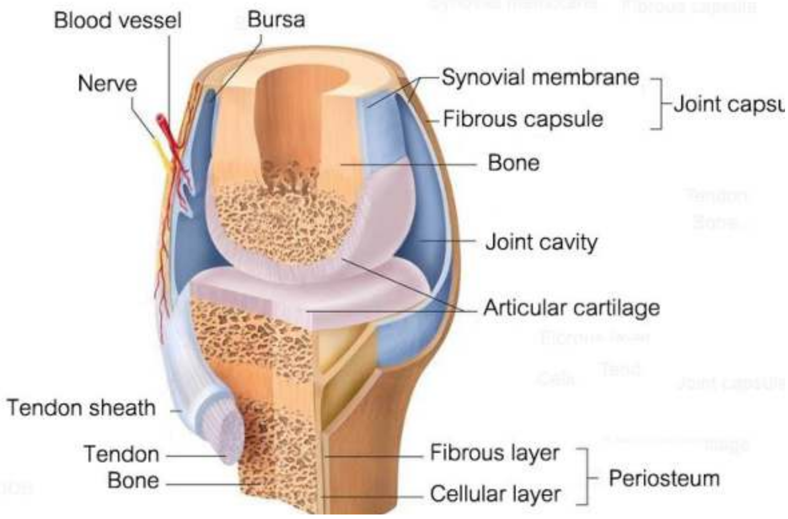
2.1 กระดูกแกน (The Axial skeletal)
2.2 กระดูกรยางค์ (The Appendicular skeleton)

# บทที่ 5
# ระบบโครงร่าง (Skeletal system)

-------------------------------------

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

ระบบโครงร่าง ประกอบด้วยกระดูกแข็ง (bone) ตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไป มาประกอบกันเป็นข้อต่อ (joint) โดยมีเอ็นยึดข้อ (articular ligament) และเยื่อหุ้มข้อ (joint capsule) ยึดเอาไว้ ระบบโครงร่างทำหน้าที่เป็นโครงของร่างกาย สามารถเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ได้เมื่อกล้ามเนื้อที่มาเกาะข้ามข้อต่อนั้นมีการหดตัว นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันอวัยวะภายในต่างๆ ไม่ให้ได้รับอันตรายจากภายนอก




รูปที่ 5-1 แสดงกายวิภาคของกระดูกแข็ง (Bone) และข้อต่อ (Joint)

## ตอนที่ 1
## โครงร่างของร่างกายมนุษย์

### 1. ส่วนประกอบทางเคมีของกระดูก

กระดูกสดๆ มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 50% และของแข็งอีก 50% ในส่วนที่เป็นของแข็งนั้น 67% เป็นสารประกอบอนินทรี ประกอบด้วยแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนใหญ่ ทำให้กระดูกมีลักษณะแข็งแต่เปราะแตกง่าย อีก 33% เป็นสารประกอบอินทรีย์ ประกอบด้วยเซลล์ หลอดเลือด และเส้นใยของเนื้อเยื่อยึดต่อ ทำให้กระดูกมีความเหนียว ยืดหยุ่น ทนต่อแรงดึงและแรงบิดได้เป็นอย่างดี

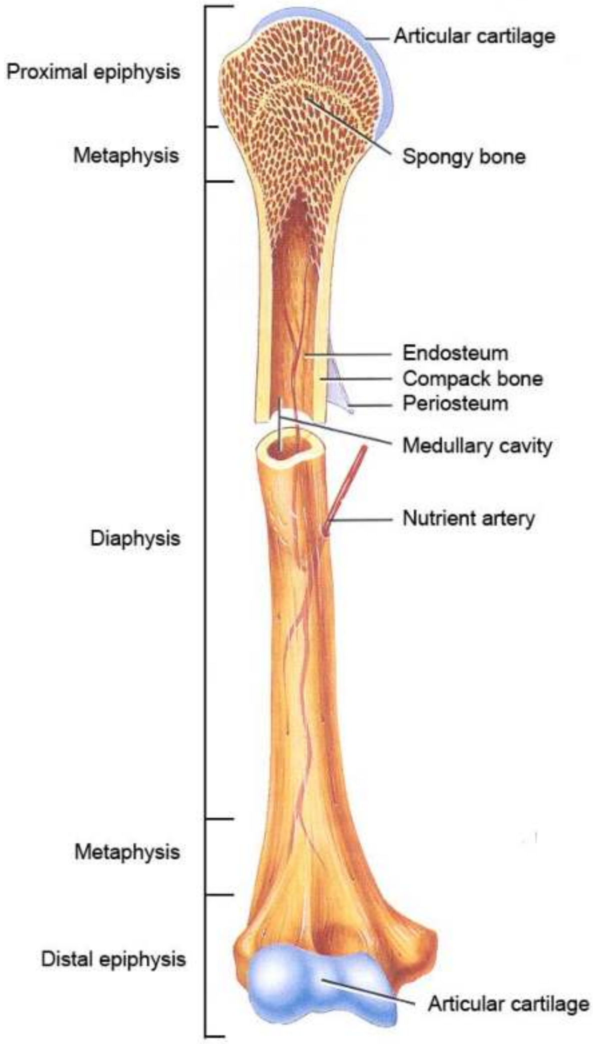
พวกสารอนินทรี จะละลายออกเมื่อแช่กระดูกในสารละลายกรด กระดูกจะทรงรูปอยู่ได้ มีความเหนียวจนดัดโค้งงอได้ แต่ไม่แข็งแรง ส่วนสารอินทรี จะเอาออกได้เมื่อนำกระดูกไปเผาไฟ ส่วนที่เหลือเป็นกระดูกยังคงรูปได้ แต่แข็งและเปราะแตกง่าย

กระดูกของเด็ก มีสารอนินทรีน้อยแต่มีสารอินทรีย์มากกว่าในผู้ใหญ่ กระดูกจึงมีความยืดหยุ่นมากกว่า ไม่ค่อยแตกหักง่ายและเมื่ออายุมากขึ้นสารอนินทรีจะมากขึ้นเป็นลำดับ กระดูกผู้ใหญ่จึงหักง่ายและติดกันยาก

## 2. มหกายวิภาคของกระดูก

กระดูกที่เป็นแท่งยาว จะประกอบด้วยส่วนลำตัวของกระดูก เรียกว่า **shaft (diaphysis)** และส่วนปลายของกระดูกทั้ง 2 ข้าง เรียกว่า **epiphysis** ส่วนของ epiphysis ประกอบด้วย**กระดูกแข็ง (compact bone)** เป็นส่วนใหญ่ ภายในมีลักษณะเป็น**กระดูกฟองน้ำ (spongy bone, cancellous bone)** ตรงกลางของ diaphysis มีโพรงขนาดใหญ่อยู่ภายในเรียกว่า **medullary cavity** เป็นที่บรรจุของ**ไขกระดูก (bone marrow)**

ผิวด้านนอกของกระดูกมีเยื่อหุ้ม เรียกว่า **periosteum** ซึ่งมีหลอดเลือด หลอดน้ำเหลือง และเส้น ประสาทวิ่งเข้ามาสู่เยื่อหุ้มนี้ เซลล์ชั้นลึกของ periosteum จะทำหน้าที่สร้างเนื้อกระดูกที่ยังเจริญไม่เต็มที่ ภายในโพรงไขกระดูกจะดาดด้วยเยื่อหุ้มกระดูกชั้นใน เรียกว่า **endosteum**




รูปที่ 5-3 แสดงมหกายวิภาคของกระดูกแข็ง

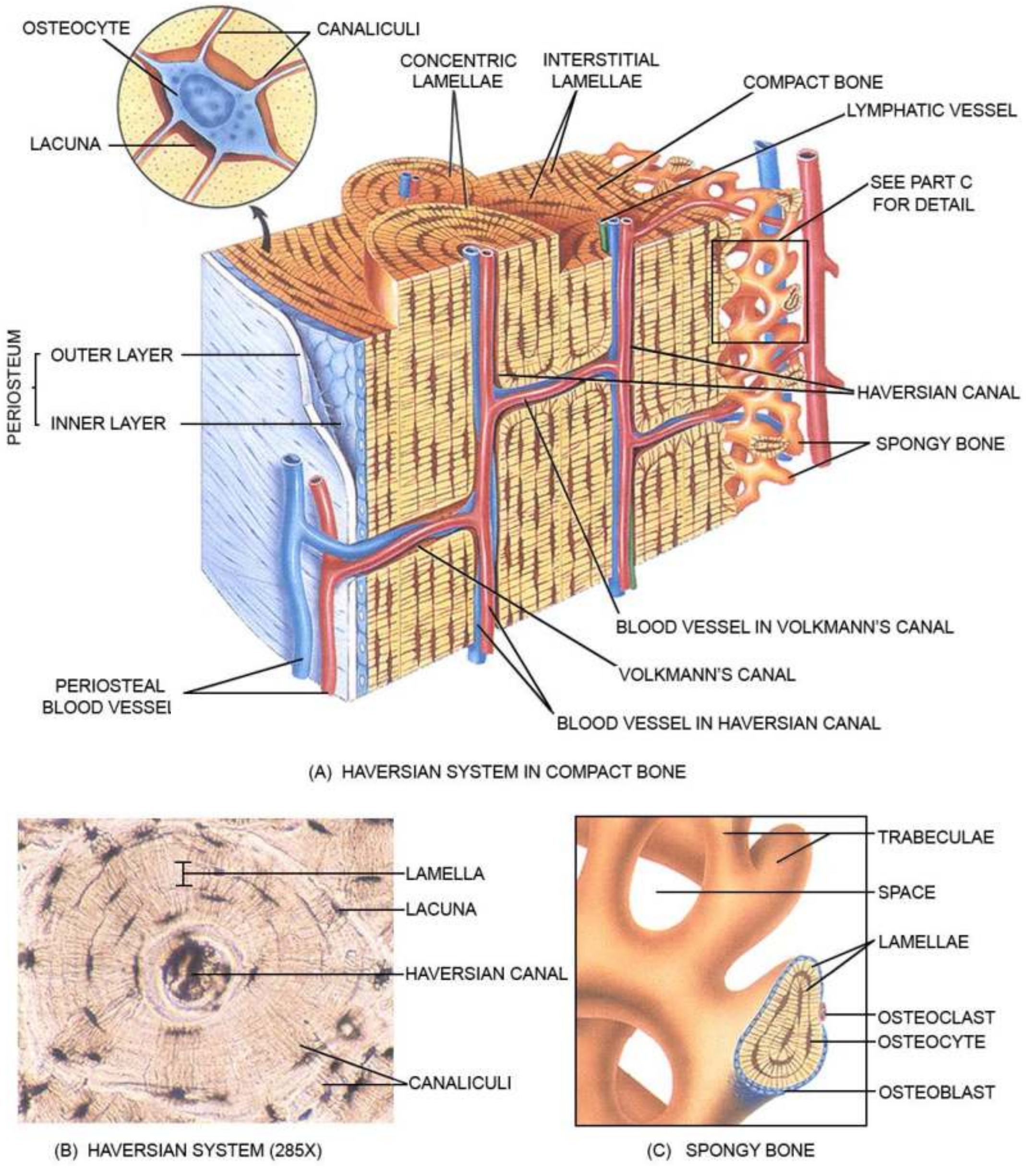
ไขกระดูกมี 2 ชนิด ได้แก่

**1. ไขกระดูกแดง (Red bone marrow)** พบใน body ของกระดูกสันหลัง กะโหลกศีรษะ กระดูกหน้าอก กระดูกซี่โครง และที่ส่วนปลายของกระดูกต้นแขน ต้นขา ไขกระดูกแดงประกอบด้วยเม็ดเลือดแดงเป็นจำนวนมาก

**2. ไขกระดูกเหลือง (Yellow bone marrow)** พบที่โพรงของกระดูกยาว ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไขมันเป็นส่วนใหญ่

## 3. จุลกายวิภาคของกระดูกแข็ง

กระดูกแข็ง เป็นเนื้อยึดต่อชนิดพิเศษที่ช่องว่างระหว่างเซลล์มีเกลือแคลเซียมมาตกตะกอน ทำให้เนื้อเยื่อชนิดนี้มีความแข็งแรงมากเป็นพิเศษ ถ้าเรานำกระดูกแข็งมาตัดบางๆ แล้วศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นเกลือแคลเซียมที่มาตกตะกอนเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นๆ เรียกนี้ว่า **lamellae** ระหว่าง lamellae จะมีเซลล์ของกระดูกแข็งชื่อ **osteocyte** ที่บรรจุในช่องว่าง ลักษณะเป็นแอ่งเล็กๆ เรียกว่า lacunae เรียงตัวอยู่เป็นระยะๆ และมีช่องทางเล็กๆ เรียกว่า **canaliculi** เชื่อมต่อถึงกันได้ ช่วยให้อาหารและออกซิเจนซึมผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง




รูปที่ 5-4 แสดงจุลกายวิภาคของกระดูก (A), ภาพตัดขวางของระบบ Haversian system (B), และภาพขยายของกระดูกพรุน (C)

ระหว่าง lamellae จะมีเซลล์ของกระดูกแข็งชนิด osteocyte ที่บรรจุในช่องว่าง ลักษณะเป็นแอ่งเล็กๆ เรียกว่า **lacunae** เรียงตัวอยู่เป็นระยะๆ และมีช่องทางเล็กๆ (canaliculi) เชื่อมต่อถึงกันได้ ช่วยให้อาหารและออกซิเจนสามารถซึมผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง

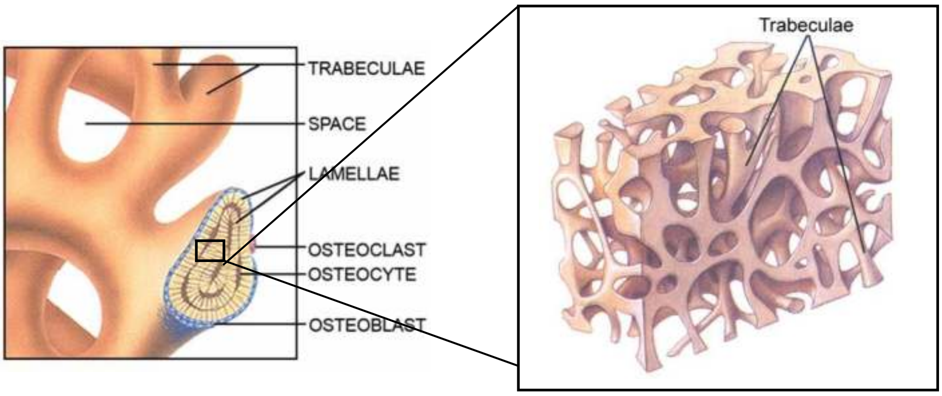
**4. ชนิดของกระดูกแข็ง** แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

**1) Compact bone** กระดูกมีลักษณะแน่นแข็ง มีการจัดเรียงตัวของชั้นกระดูกอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่าระบบ **Haversian system** ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของกระดูกแข็ง ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของสาร อาหารไปเลี้ยงเซลล์กระดูกแข็ง

ระบบ Haversian system ประกอบด้วยชั้นกระดูกที่เรียงตัวกันเป็นวงกลมซ้อนกันหลายชั้น ตรงกลางมีลักษณะเป็นท่อยาว เรียกว่า Haversian canal เป็นทางผ่านของหลอดเลือด หลอดน้ำเหลืองและเส้นประสาทที่มาเลี้ยงเซลล์กระดูก Haversian canal แต่ละอันเชื่อมติดต่อกันผ่านทางท่อที่เรียกว่า **Volkmann's canal**

**2) Cancellous (spongy) bone** หรือกระดูกฟองน้ำ ประกอบด้วยกระดูกแข็งชิ้นเล็กๆ เรียกว่า trabeculae ระหว่างกระดูกแข็งชิ้นเล็กมีช่องว่างเล็กๆ เป็นที่อยู่ของไขกระดูกแดง และเซลล์ไขมัน เมื่อมองด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นการเรียงตัวของชั้นกระดูกไม่เป็นระเบียบ และมีจำนวนน้อย

กระดูกฟองน้ำพบอยู่ที่ส่วนปลายของกระดูกยาวและตรงกลางของกระดูกแบน กระดูกสั้นและกระดูกรูปแปลก นอกจากนี้ยังพบว่ากระดูกพรุนที่กระดูกสะโพก ซี่โครง กระดูกกลางอก กระดูกสันหลัง กะโหลกศีรษะ พบไขกระดูกแดงจำนวนมาก และเป็นแหล่งสร้างเม็ดเลือดในผู้ใหญ่




รูปที่ 5-5 แสดงลักษณะของกระดูกพรุน

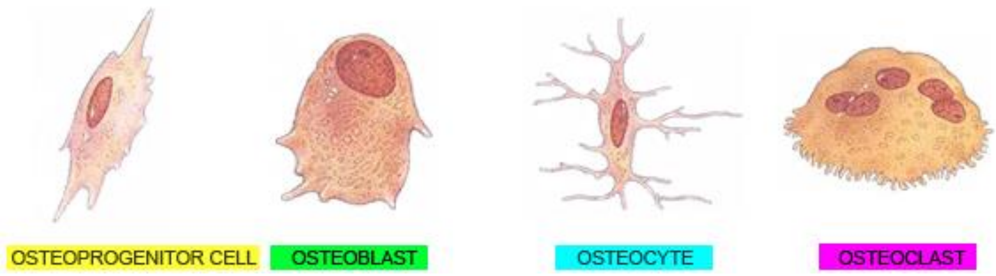
**5. เซลล์ของกระดูกแข็ง** ประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด

**5.1 Osteoprogenitor cell** เป็นเซลล์ต้นกำเนิดของกระดูกแข็ง เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นจะเปลี่ยนเป็นเซลล์กระดูกชนิด osteoblast

**5.2 Osteoblast** เป็นเซลล์ที่มีหน้าที่การสร้างเนื้อกระดูก สร้างสารที่อยู่ระหว่างเซลล์ (intercellular substance) ซึ่งต่อมาจะมีแคลเซียมเข้าไปสะสม กลายเป็นกระดูกแข็ง

**5.3 Osteocyte** เป็นเซลล์ที่เจริญเต็มที่ อยู่ในแอ่งเล็กๆ ที่ เรียกว่า lacunae เซลล์มีความสามารถสร้างและสลายเนื้อกระดูก บำรุงรักษาและซ่อมแซมเนื้อกระดูกบริเวณใกล้เคียง และควบคุมปริมาณของแคลเซียมในเลือดภายใต้อิทธิพลของพาราไทรอยด์ฮอร์โมน

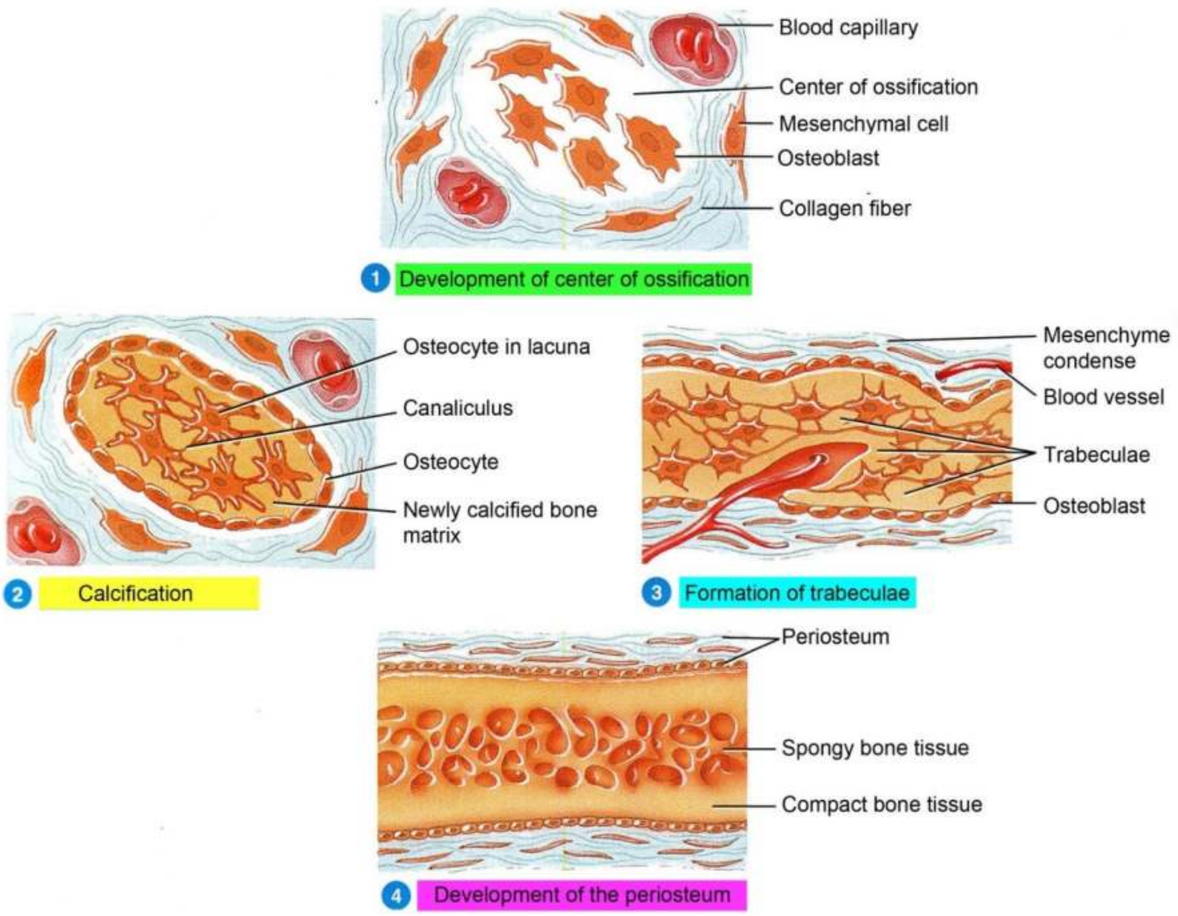
**5.4 Osteoclast** เป็นเซลล์ที่สามารถสร้างน้ำย่อยออกมาละลายกระดูก ทำให้กระดูกบางลง




รูปที่ 5-6 แสดงเซลล์ของกระดูกแข็ง

**6. การเจริญเติบโตของกระดูกแข็ง** มี 2 วิธี

**6.1 Intramembranous (periosteal) ossification** พบในกระดูกแข็งชนิดแบน และผิวของกระดูกยาว เริ่มจากเซลล์กระดูกอ่อน เรียกว่า mesenchymal cells มาเรียงตัวอัดแน่นกันเป็นแผ่น ต่อมาเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็น osteoblast ทำหน้าที่สร้าง bone matrix ออกมา และเกิดการสะสมของแคลเซียมได้เนื้อกระดูกแข็ง การเกิดโดยวิธีนี้เกิดได้หลายตำแหน่งพร้อมกัน ทำให้ได้กระดูกแข็งชิ้นเล็กๆ (trabeculae) เรียงตัวประสานกันกันได้เป็นกระดูกฟองน้ำ (spongy) ต่อมามีการจัดเรียงตัวด้านนอกของกระดูกฟองน้ำกลายเป็นกระดูกแข็ง (compact bone)

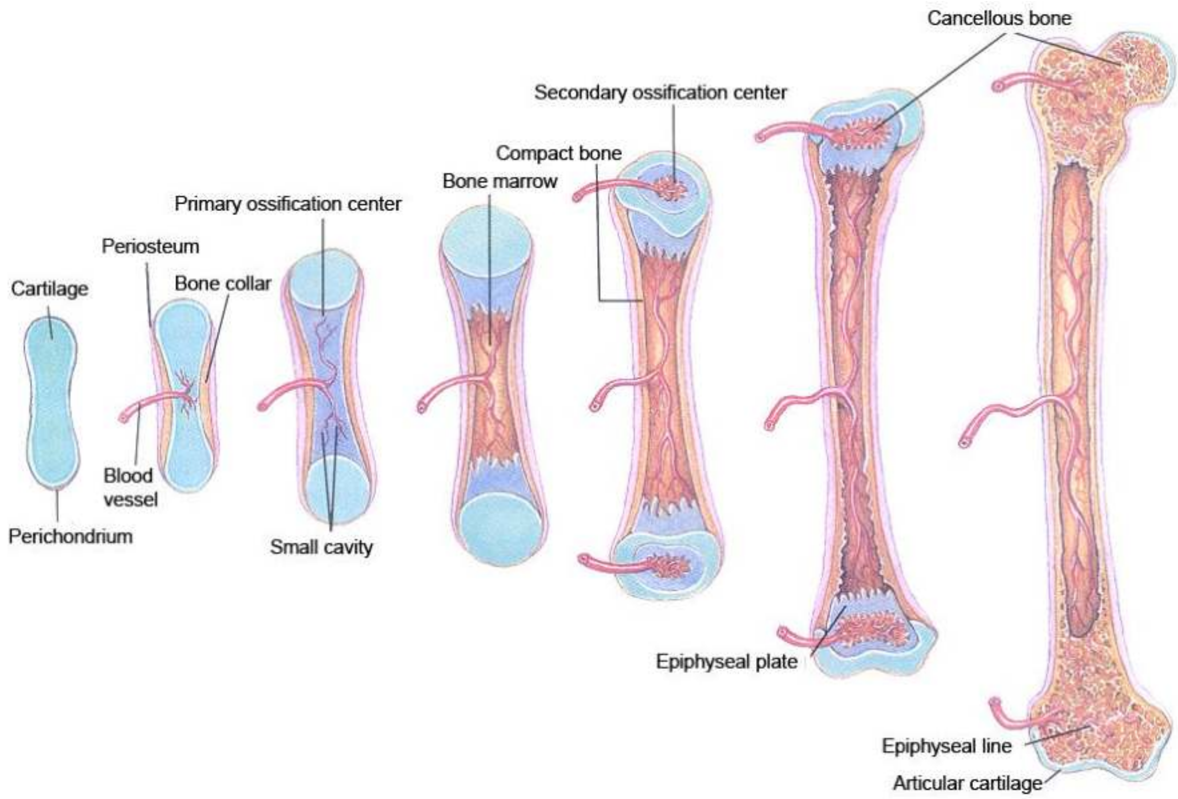



รูปที่ 5-7 แสดงการเจริญเติบโตของกระดูกแข็ง Intramembranous (periosteal) ossification

**6.2 Endochondral (intracartilagenous) ossification** เป็นการเกิดกระดูกแข็งแทนที่ในแม่ พิมพ์ที่เป็นกระดูกอ่อน พบในกระดูกที่มีลักษณะยาว

**1) Diaphysis หรือ Primary ossification** เกิดที่บริเวณลำตัวของกระดูกอ่อนที่เป็นแม่พิมพ์ โดยจะมีการเกิดการสะสมของแคลเซียมในเนื้อกระดูกอ่อน เมื่อเซลล์กระดูกอ่อนตายจะเกิดช่องว่างเล็กๆ ต่อมามีหลอดเลือดแทรกเข้ามาตามช่องพรุนๆ นำเซลล์ต้นกำเนิดของกระดูกแข็งเข้าไปตรงกลางของแท่งกระดูก

**2) Epiphyseal หรือ Secondary ossification** เกิดที่ส่วนปลายทั้ง 2 ข้างของกระดูกอ่อนที่เป็นแม่พิมพ์ กระบวนการเกิดคล้ายกับ Diaphysis ossification โดยมีการขยายไปชิดกับ Diaphysis ossification มีกระดูกอ่อน epiphyseal plate กั้น แผ่นกระดูกอ่อนนี้ จะคงอยู่และเพิ่มความยาวให้กับกระดูกจนกว่าร่างกายจะหยุดการเจริญเติบโต




รูปที่ 5-8 แสดงการเจริญเติบโตของกระดูกแข็ง Endochondral ossification

## 7. ชนิดของกระดูกแข็ง (Type of bones)

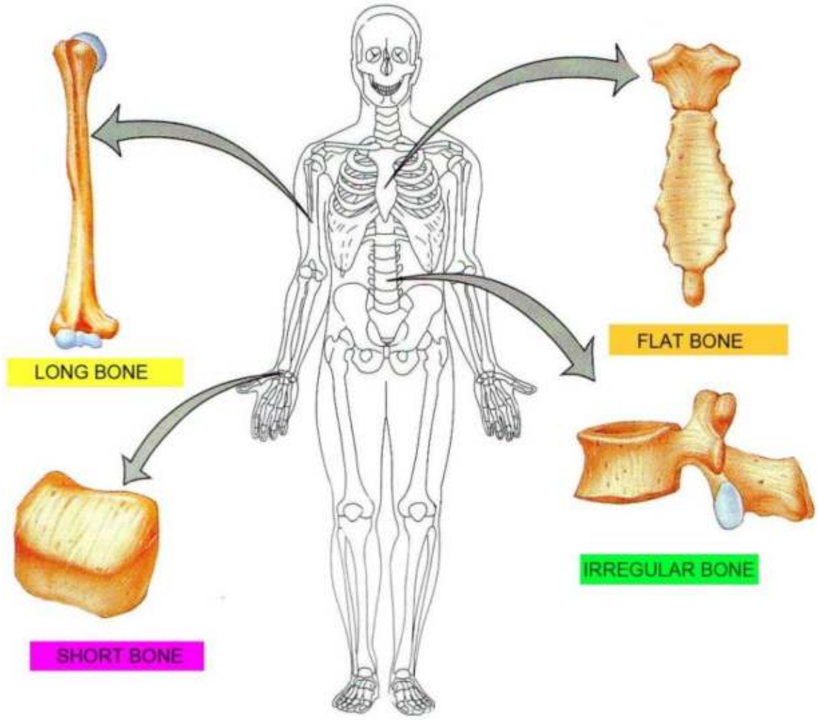
กระดูกแข็ง สามารถแบ่งตามลักษณะรูปร่างเป็น 4 ชนิด ได้แก่

**7.1 กระดูกแข็งยาว (Long bone)** หมายถึง กระดูกที่มีความยาวมากกว่าความกว้าง เช่น กระดูกแขน

**7.2 กระดูกแข็งสั้น (Short bone)** หมายถึง กระดูกที่มีความยาวและความกว้างใกล้เคียงกัน เช่น กระดูกข้อมือ ข้อเท้า

**7.3 กระดูกแข็งที่มีรูปร่างแบน บาง (Flat bone)** เช่น กระดูกกะโหลกศีรษะ ซี่โครง สะบัก

**7.4 กระดูกรูปร่างแปลก ๆ** (Irregular bone) มีรูปร่างไม่แน่นอน เช่น กระดูกสะโพก กระดูกสันหลัง ส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อและเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวบริเวณข้อต่อ




รูปที่ 5-9 แสดงกายวิภาคของกระดูกแข็ง

## 8. ข้อต่อ (Articulation, Joint)

ส่วนของโครงกระดูกจะยึดกันด้วยเนื้อยึดต่อที่ประกอบด้วยเส้นใยหรือกระดูกอ่อน ตำแหน่งที่กระดูกมาต่อกัน เรียกว่า ข้อต่อ ซึ่งจะมีพังผืด เอ็น กล้ามเนื้อ หุ้มอยู่รอบข้อต่อ ข้อต่อแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะทางกายวิภาค ได้แก่

**8.1 Fibrous joint** ข้อต่อชนิดนี้ กระดูกที่มาต่อกันจะถูกยึดติดกันอย่างแน่นหนา ทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างกระดูก ข้อต่อจะเคลื่อนไหวได้น้อย หรือไม่ได้เลย มีลักษณะแตกต่างกัน 3 แบบ

**1) Suture** ได้แก่ ข้อต่อระหว่างกระดูกกะโหลกศีรษะ

**2) Syndesmoses** ข้อต่อยึดกันแน่นด้วยเนื้อยึดต่อแผ่นบางๆ เช่น ข้อต่อระหว่างกระดูก radius และ ulna สามารถเคลื่อนไหวได้เล็กน้อย

**3) Gomphoses** ได้แก่ ข้อต่อระหว่างรากฟันกับร่องของกระดูกขากรรไกร ข้อต่อชนิดนี้เคลื่อนไหวไม่ได้

**8.2 Cartilagenous joint** เป็นข้อต่อชนิดที่กระดูกที่มาประกอบกันเป็นข้อต่อถูกยึดไว้ด้วยกระดูกอ่อน ไม่มีช่องว่างระหว่างกระดูก แบ่งได้เป็น 2 แบบ

**1) Synchondroses** กระดูกแข็งที่มาประกอบเป็นข้อต่อ ถูกยึดไว้ด้วย กระดูกอ่อนชนิด hyaline ได้แก่ ข้อต่อระหว่างกระดูกแข็ง บริเวณ diaphysis ของกระดูกแข็งยาวกับกระดูกแข็งส่วน epiphysis ที่มี epiphyseal ช่วยยึดติด

**2) Symphyses** กระดูกแข็งที่มาประกอบเป็นข้อต่อถูกยึดไว้ด้วย กระดูกอ่อนชนิด fibrocartilage เช่น pubic symphysis

**8.3 Synovial joint** เป็นข้อต่อชนิดที่มีช่องว่างแทรกอยู่ระหว่างกระดูก 2 ชิ้น และมีเปลือกหุ้ม เรียกว่า articular capsule ช่องว่างที่อยู่ภายในเปลือกหุ้มนี้ เรียกว่า **synovial joint (cavity)** ภายในบรรจุของเหลว เรียกว่า **synovial fluid** ทำหน้าที่ช่วยในการหล่อลื่น ลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของ synovial joint คือบริเวณปลายของกระดูกแข็งที่มาต่อกัน จะมีกระดูกอ่อนมาคลุม เรียกว่า **articular cartilage** ช่วยลดการเสียดสีระหว่างการเคลื่อนไหว ข้อต่อชนิด synovial joint แบ่งออกเป็น 6 ชนิด โดยอาศัยรูปร่างของผิวสัมผัส ได้แก่

**1) Gliding joint** ผิวกระดูกที่มาสัมผัสกัน มีลักษณะเรียบ การเคลื่อนไหวเป็นแบบเลื่อนไปมา เช่น ข้อมือ ข้อเท้า

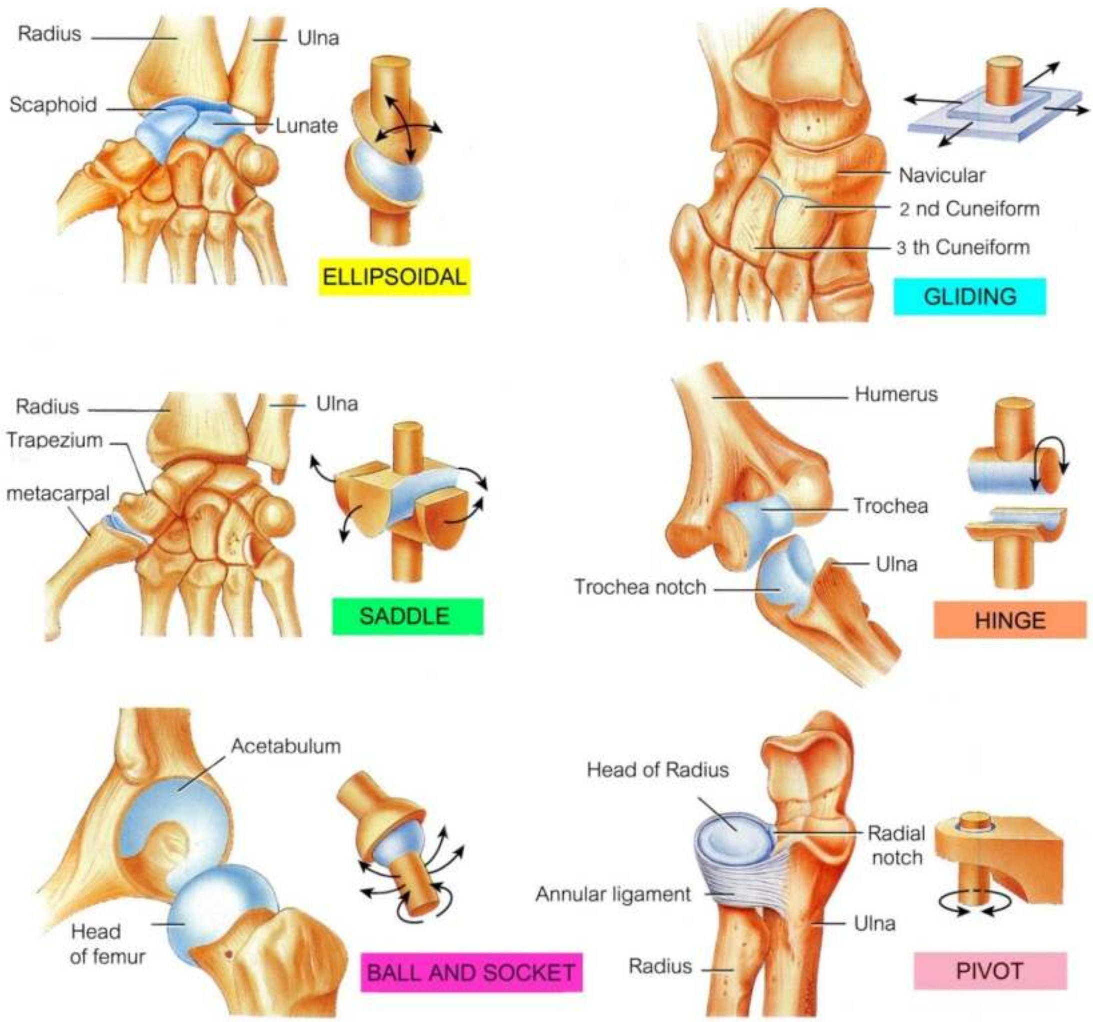
**2) Hinge joint** ผิวสัมผัสด้านหนึ่งมีลักษณะโค้งนูน อีกด้านหนึ่งเป็นแอ่งเว้าลงไป เช่น ข้อศอก เข่า

**3) Pivot joint** ปลายด้านหนึ่งมีลักษณะกลม สวมเข้าไปในวงแหวน เช่น รอยต่อระหว่างกระดูกคอชิ้นที่ 1 และ 2

**4) Ellipsoidal joint** ผิวด้านหนึ่งมีลักษณะนูนโค้ง สวมเข้าไปในแอ่งเว้ารูปรี พบที่รอยต่อของกระดูก radius กับ กระดูกข้อมือ

**5) Saddle joint** ปลายกระดูกด้านหนึ่งเหมือนอานม้า อีกด้านหนึ่งเหมือนคนขี่ม้า นั่งบนอาน พบที่รอยต่อของกระดูก trapezium ของกระดูกข้อมือกับ metacarpal ชิ้นที่ 1

**6) Ball and Socket** ปลายด้านหนึ่งเหมือนลูกบอล สวมไปในแอ่งเว้า พบที่ข้อไหล่และข้อสะโพก




รูปที่ 5-10 แสดงข้อต่อของ synovial joint

## 9. คำที่ใช้อธิบายส่วนต่างๆ ของกระดูก

กระดูกแข็ง จะมีลักษณะที่ปรากฏแตกต่างกัน และมีคำเฉพาะในการเรียกที่พบบ่อย ได้แก่

**9.1 คำที่ใช้เรียกส่วนสำคัญของกระดูก**

Body ส่วนลำตัวของกระดูก เช่น body of femur (ตัวของกระดูก femur)

Head ส่วนหัวกระดูก เช่น head of femur (ส่วนหัวของกระดูกต้นขา)

Neck ส่วนคอของกระดูก เช่น neck of femur (ส่วนคอของกระดูกต้นขา)

Angle มุมกระดูก เช่น angle of mandible (มุมกระดูกขากรรไกร)

Condyle ส่วนกลมมนที่ยื่นออกไปต่อกับกระดูกชิ้นอื่น เช่น femoral condyle (ปุ่มกลมมนของปลายกระดูกต้นขา)

**9.2 คำที่ใช้เรียกสันกระดูก**

Linea สันเป็นแนวเส้น

Crest ส่วนยื่นเป็นสัน เช่น iliac crest (สันของกระดูก ilium)

Spine ส่วนยื่นเป็นสันบาง เช่น thoracic spine (กระดูกสันหลังส่วนอก)

**9.3 คำที่ใช้เรียกส่วนยื่น**

Trochanter ปุ่มนูนขนาดใหญ่ เช่น greater trochanter (ปุ่มนูนขนาดใหญ่ที่กระดูกต้นขา)

Tuberosity ปุ่มนูนขนาดใหญ่ขรุขระ เช่น ischial tuberosity (ปุ่มที่กระดูก ischium)

Tubercle ปุ่มขนาดเล็กและมนกลม เช่น greater tubercle (ปุ่มที่กระดูกต้นแขน)

Process ส่วนที่ยื่นออกมาชัดเจน เช่น olecranon process ของกระดูกแขนด้านใน

Epicondyle ปุ่มที่อยู่ปลายส่วนกระดูก และอยู่ทางด้านข้างของ condyle

Cornu ลักษณะเหมือนเขา

**9.4 รูหรือรูเปิด**

Foramen รูซึ่งอยู่ที่กระดูก เช่น foramen magnum (รูที่กระดูก occipital bone)

Canal หรือ Meatus ช่องเล็กๆ เช่น external auditory meatus (ช่องหูชั้นนอก)

Fissure รอยแตกแคบ ๆ ที่กระดูก

Sinus โพรงอากาศที่อยู่ในกระดูก เช่น frontal sinus (โพรงอากาศเหนือคิ้ว)

**9.5 รอยกด รอยยุบ**

Notch ส่วนเว้าเล็กๆ บนขอบกระดูก

Fossa แอ่งบนกระดูก

Groove หรือ Sulcus ร่องตื้นๆ เป็นแนวยาว

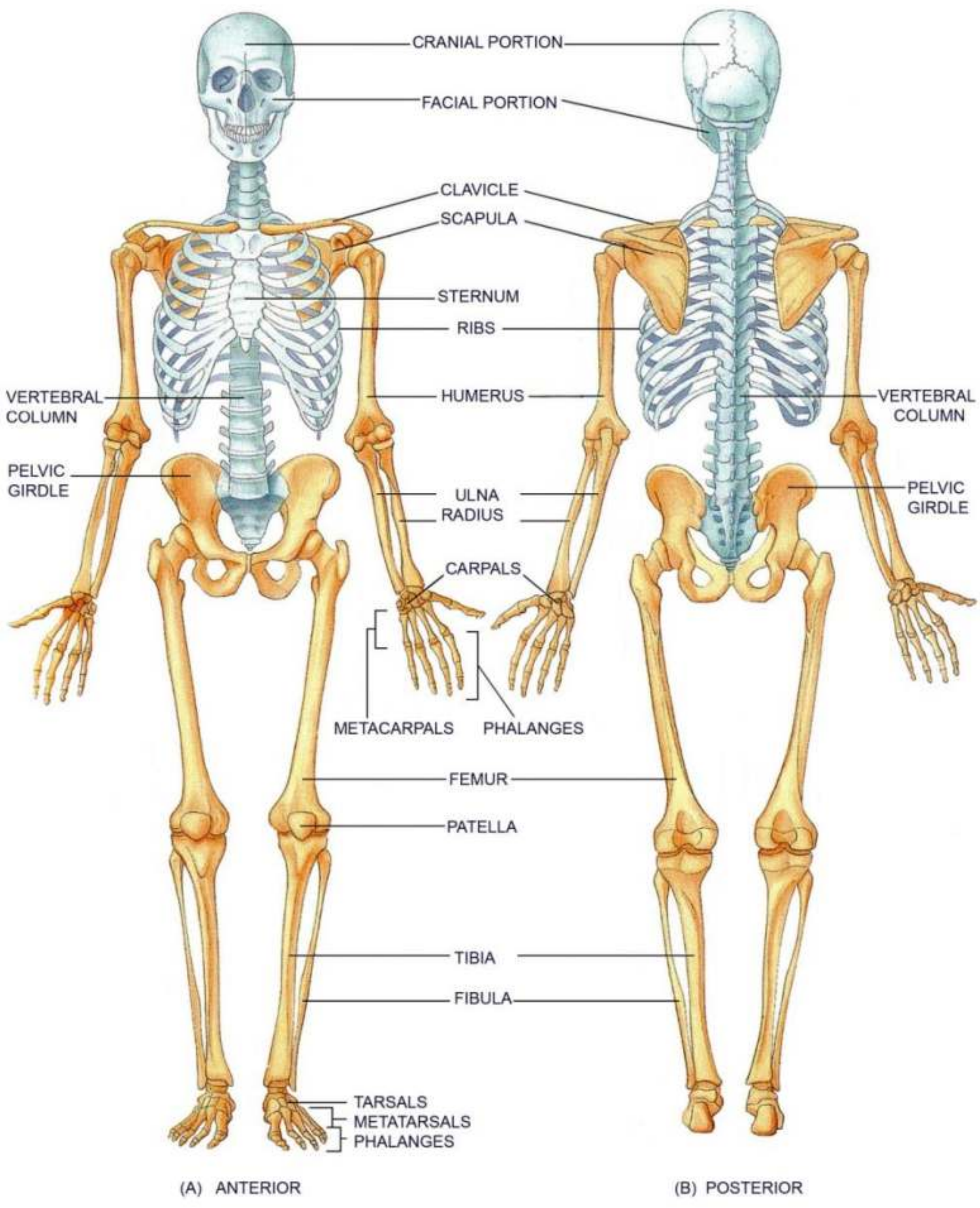
Fovea หลุมเล็ก ๆ

## ตอนที่ 2
## กระดูกของร่างกายมนุษย์

กระดูกแข็งที่ประกอบเป็นระบบโครงร่างของร่างกายมนุษย์มีทั้งหมด 206 ชิ้น แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Axial skeleton (กระดูกแกน) และ Appendicular skeleton (กระดูกรยางค์)

### Axial skeleton (กระดูกแกน)

Axial skeleton หมายถึง กระดูกแข็งที่อยู่ในส่วนแกนกลางของร่างกาย ทำหน้าที่เป็นโครงร่างค้ำจุน ป้องกันอวัยวะภายในต่างๆ เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนไหว การหายใจ และรักษาท่าทางของร่างกาย




รูปที่ 5-11 แสดงกายวิภาคของร่างกายมนุษย์ทางด้านหน้า (A) และด้านหลัง (B)

**กระดูกแกน ประกอบด้วยกระดูก 80 ชิ้น ได้แก่**

1. **Skull** (กะโหลกศีรษะ) จำนวน 22 ชิ้น ประกอบด้วย
    - **1.1 Cranial bones** (กะโหลกศีรษะส่วนครอบ) จำนวน 8 ชิ้น
    - **1.2 Facial bones** (กระดูกใบหน้า) จำนวน 14 ชิ้น
2. **Auditory ossicles** (กระดูกหู) จำนวน 6 ชิ้น
3. **Hyoid bone** (กระดูกคอหรือกระดูกโคนลิ้น) จำนวน 1 ชิ้น
4. **Thorax** (กระดูกอก) จำนวน 25 ชิ้น ประกอบด้วย
    - **4.1 Ribs** (กระดูกซี่โครง) จำนวน 24 ชิ้น
    - **4.2 Sternum** (กระดูกหน้าอก) จำนวน 1 ชิ้น
5. **Vertebrae** (กระดูกสันหลัง) จำนวน 26 ชิ้น ประกอบด้วย
    - **5.1 Cervical vertebrae** (กระดูกสันหลังส่วนคอ) จำนวน 7 ชิ้น
    - **5.2 Thoracic vertebrae** (กระดูกสันหลังส่วนอก) จำนวน 12 ชิ้น
    - **5.3 Lumbar vertebrae** (กระดูกสันหลังส่วนเอว) จำนวน 5 ชิ้น
    - **5.4 Sacral vertebrae, Sacrum** (กระดูกกระเบนเหน็บ) จำนวน 1 ชิ้น
    - **5.5 Coccyx** (กระดูกก้นกบ) จำนวน 1 ชิ้น

## Appendicular skeleton (กระดูกรยางค์)

เป็นกระดูกแข็งที่ประกอบเป็นรยางค์ และกระดูกแข็งที่ทำหน้าที่ยึดรยางค์ไว้กับร่างกาย

**กระดูกรยางค์ ประกอบด้วยกระดูก 126 ชิ้น ได้แก่**

1. **Shoulder girdle** (กระดูกช่วงไหล่) จำนวน 4 ชิ้น ประกอบด้วย
    - 1.1 Scapula (กระดูกสะบัก) จำนวน 2 ชิ้น
    - 1.2 Clavicle (กระดูกไหปลาร้า) จำนวน 2 ชิ้น
2. **Upper extremities** (กระดูกแขน) จำนวน 60 ชิ้น ประกอบด้วย
    - 2.1 Humerus (กระดูกต้นแขน) จำนวน 2 ชิ้น
    - 2.2 Ulna (กระดูกปลายแขนด้านใน) จำนวน 2 ชิ้น
    - 2.3 Radius (กระดูกปลายแขนด้านนอก) จำนวน 2 ชิ้น
    - 2.4 Carpal bones (กระดูกข้อมือ) จำนวน 16 ชิ้น
    - 2.5 Metacarpal bones (กระดูกฝ่ามือ) จำนวน 10 ชิ้น
    - 2.6 Phalanges (กระดูกนิ้วมือ) จำนวน 28 ชิ้น
3. **Lower extremities** (กระดูกขา) จำนวน 60 ชิ้น ประกอบด้วย
    - 3.1 Femur (กระดูกต้นขา) จำนวน 2 ชิ้น
    - 3.2 Fibula (กระดูกน่อง) จำนวน 2 ชิ้น
    - 3.3 Tibia (กระดูกหน้าแข้ง) จำนวน 2 ชิ้น
    - 3.4 Patella (กระดูกสะบ้า) จำนวน 2 ชิ้น
    - 3.5 Tarsal bones (กระดูกข้อเท้า) จำนวน 14 ชิ้น
    - 3.6 Metatarsal bones (กระดูกฝ่าเท้า) จำนวน 10 ชิ้น
    - 3.7 Phalanges (กระดูกนิ้วเท้า) จำนวน 28 ชิ้น
4. **Hip bone** (กระดูกสะโพก) จำนวน 2 ชิ้น

## กระดูกแกน
## (The axial skeletal)

### กะโหลกศีรษะ (Skull)

ประกอบด้วยกระดูกแข็ง 22 ชิ้น แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กะโหลกศีรษะส่วนครอบ (cranial bones) และกระดูกใบหน้า (facial bones) ทำหน้าที่เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อบริเวณศีรษะ ห่อหุ้มและปกป้องสมองที่อยู่ภายในไม่ให้ได้รับอันตรายจากแรงกระแทก ปกป้องอวัยวะที่ใช้ในการรับเสียงและการทรงตัว กระดูกใบหน้าเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดรูปหน้า เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อที่แสดงสีหน้า เป็นที่ยึดเกาะของฟัน นอกจากนี้ยังประกอบด้วยช่องว่างซึ่งเป็นที่อยู่ของอวัยวะรับความรู้สึกชนิดพิเศษ ได้แก่ การรับภาพ รับเสียง รับรส รับกลิ่น และการทรงตัว กะโหลกศีรษะประกอบด้วย

**1. Cranial bones** หมายถึง กระดูกศีรษะส่วนครอบ ประกอบด้วยกระดูกแข็ง 8 ชิ้น ได้แก่

| | |
|---|---|
| 1.1 Frontal bone | จำนวน 1 ชิ้น |
| 1.2 Parietal bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 1.3 Temporal bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 1.4 Occipital bone | จำนวน 1 ชิ้น |
| 1.5 Sphenoid bone | จำนวน 1 ชิ้น |
| 1.6 Ethmoid bone | จำนวน 1 ชิ้น |

**2. Facial bones** หมายถึง กระดูกใบหน้า ประกอบด้วยกระดูกแข็ง 14 ชิ้น ได้แก่

| | |
|---|---|
| 2.1 Nasal bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.2 Maxillae | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.3 Zygomatic bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.4 Mandible | จำนวน 1 ชิ้น |
| 2.5 Lacrimal bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.6 Palatine bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.7 Inferior nasal turbinate | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.8 Vomer | จำนวน 1 ชิ้น |

### กระดูกศีรษะส่วนครอบ (Cranial bones)

**1. Frontal bone** มี 1 ชิ้น ประกอบเป็นหลังคาของเบ้าตา และพื้นส่วนใหญ่ของกะโหลกศีรษะทางด้านหน้า ตรงหัวคิ้วจะมีโพรงอากาศอยู่ทั้งซ้ายและขวา เรียกว่า **frontal sinuses**

**2. Parietal bones** มี 2 ชิ้น ประกอบกันเป็นผนังด้านข้างและหลังคาของกะโหลกศีรษะ กระดูกมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโค้ง 2 ชิ้นซ้ายขวามาเชื่อมต่อกันตรงแนวกลางตัว เรียกรอยต่อนี้ว่า **sagittal suture** และมีรอยเชื่อมต่อกับกระดูก frontal bone ทางด้านหน้า เรียกรอยต่อนี้ว่า **coronal suture**

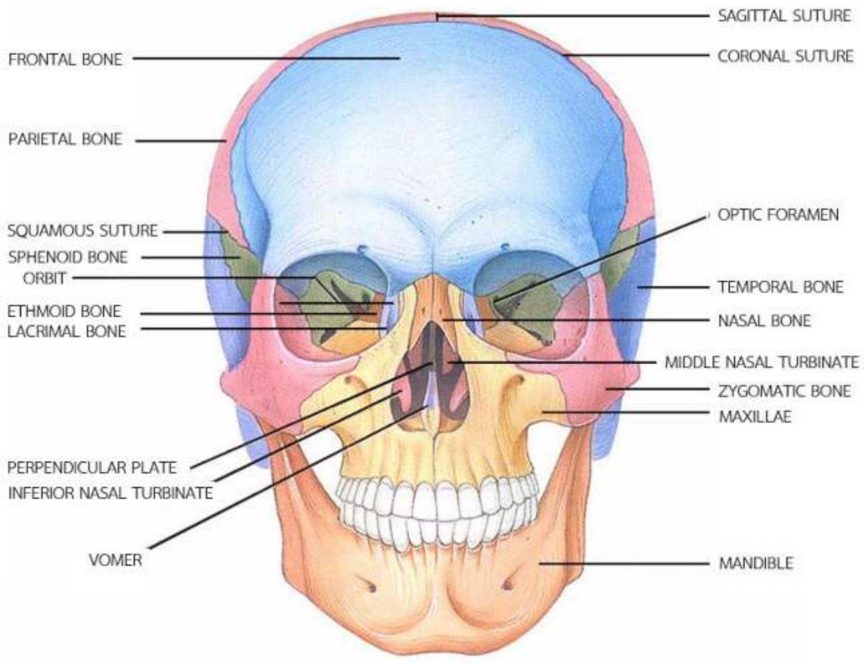
**3. Temporal bones** มี 2 ชิ้น ประกอบเป็นผนังและพื้นด้านข้างของกะโหลกศีรษะต่ำจาก parietal bone ลงมา กระดูก temporal มีลักษณะที่ค่อนข้างซับซ้อน แบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ 4 ส่วน ได้แก่

3.1 Squamous portion กระดูกค่อนข้างบางอยู่ทางด้านข้างของกะโหลกศีรษะและอยู่เหนือรูหู

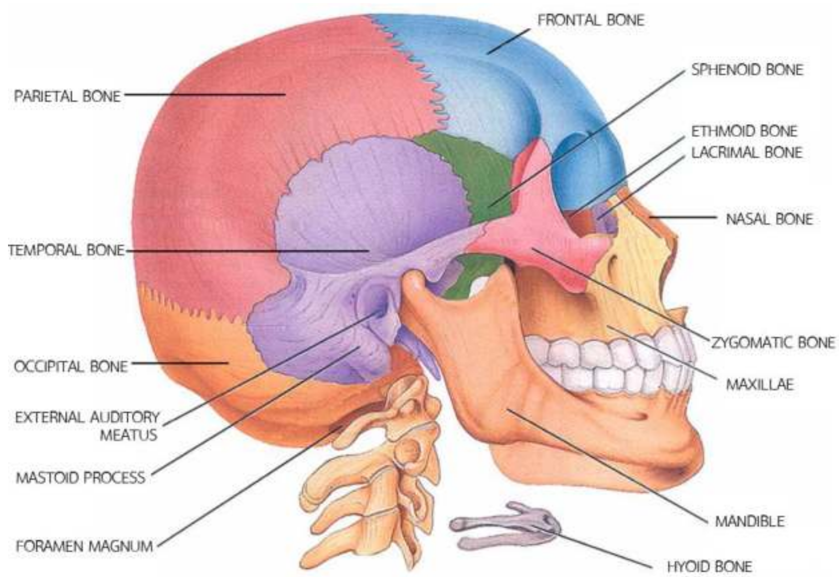
3.2 Petrous portion อยู่ที่ส่วนพื้นของกะโหลกศีรษะ กระดูกเป็นรูปสามเหลี่ยม ยกตัวสูงเป็นแนวยาวคล้ายภูเขา ภายในเป็นที่อยู่ของหูชั้นกลางและหูชั้นใน มีกระดูกหูบรรจุอยู่ข้างละ 3 ชิ้น คือ malleus (กระดูกรูปฆ้อน) incus (กระดูกทั่ง) และ stapes (กระดูกโกลน)

3.3 Mastoid portion อยู่ทางด้านหลังและด้านล่างต่อรูหู ด้านหลังใบหูมีปุ่มนูนกลมมน เรียกปุ่มกระดูก mastoid process ภายในมีโพรงอากาศเล็กๆ จำนวนมาก

3.4 Tympanic portion เป็นที่อยู่ของหูส่วนนอก ทางด้านล่างมีปุ่มกระดูกยาวแหลม เรียกว่า styloid process เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นของลิ้นและคอ นอกจากนี้ยังเป็นที่เกาะของเส้นเอ็นเพื่อยึดกระดูกโคนลิ้นไว้กับฐานของกะโหลกศีรษะ




รูปที่ 5-12 แสดงกายวิภาคของกะโหลกศีรษะทางด้านหน้า




รูปที่ 5-13 แสดงกายวิภาคของกะโหลกศีรษะทางด้านข้าง

**4. Occipital bone** หมายถึง กระดูกท้ายทอย มี 1 ชิ้น ประกอบเป็นพื้นทางด้านหลังของกะโหลกศีรษะเกือบทั้งหมด กระดูก occipital แยกออกจากกระดูก parietal โดยรอยต่อที่เรียกว่า **Lambdoid suture** ทางด้านล่างพบรูขนาดใหญ่ เรียกว่า **foramen magnum** เป็นทางเชื่อมต่อของสมองกับไขสันหลัง

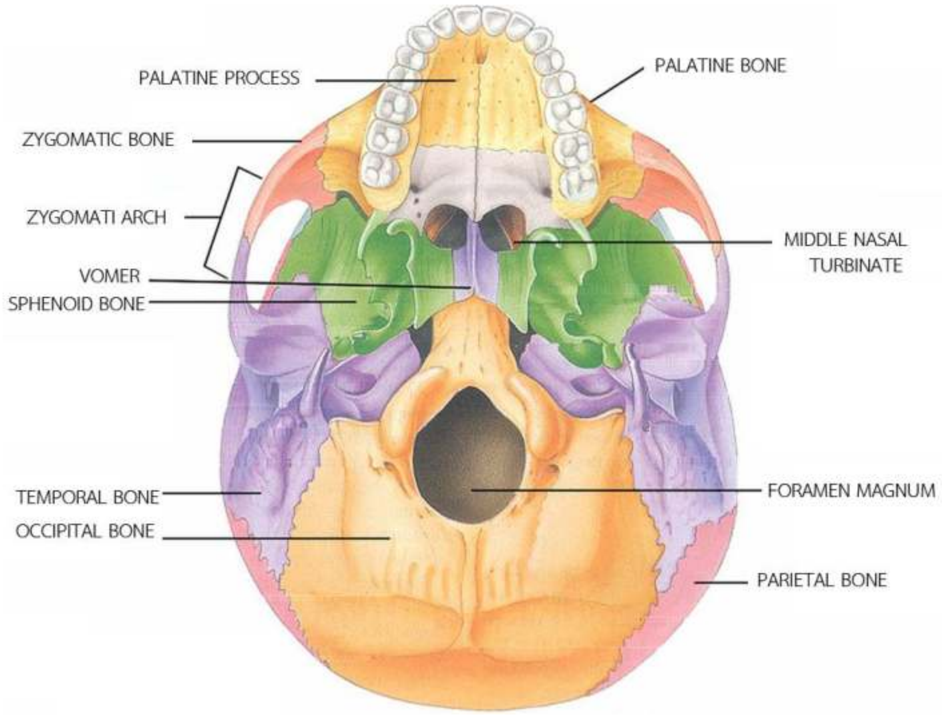
**5. Sphenoid bone** มี 1 ชิ้น วางตัวอยู่ตรงกลางของฐานกะโหลกศีรษะ กระดูกมีรูปร่างเหมือนผีเสื้อกางปีก แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

=> Body เป็นส่วนกลางอยู่เหนือจมูกค่อนไปทางด้านหลัง อยู่ระหว่างกระดูก ethmoid และ occipital ผิวด้านบนมีลักษณะเป็นแอ่งเว้าลึกคล้ายแอ่งม้า เรียกว่า sella turcica เป็นที่อยู่ของต่อมพิทูอิทารี

=> Greater wings เป็นปีกใหญ่ที่แผ่ออกไปด้านข้าง

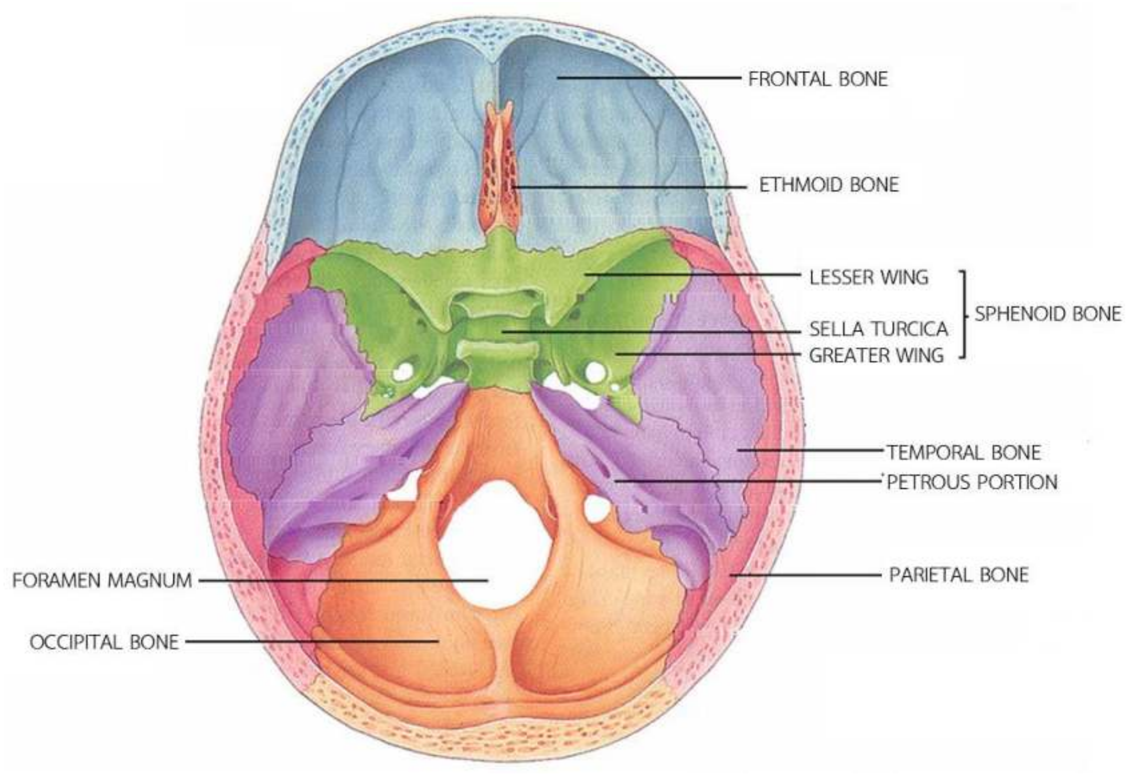
=> Lesser wings มีขนาดเล็กกว่า greater wings

**6. Ethmoid bone** มี 1 ชิ้น เป็นกระดูกที่ค่อนข้างบางและพรุนคล้ายฟองน้ำ เนื่องจากมีโพรงอากาศเล็กๆ เป็นจำนวนมาก วางตัวอยู่ตรงกลางทางด้านหน้าของพื้นกะโหลกศีรษะ และอยู่ระหว่างเบ้าตาทั้ง 2 ข้าง ประกอบเป็นผนังด้านในของเบ้าตาและหลังคาของโพรงจมูก ส่วนที่ประกอบเป็นหลังคาของโพรงจมูกเป็นกระดูกที่มีรูพรุน เรียกว่า cribriform plate เป็นทางผ่านของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 ซึ่งทำหน้าที่ในการรับกลิ่น




รูปที่ 5-14 แสดงกายวิภาคของกะโหลกศีรษะมองจากด้านล่าง

ตรงกึ่งกลางของ cribriform plate มีแผ่นกระดูกยื่นขึ้นมา 2 แผ่น แผ่นที่ยื่นขึ้นข้างบน เรียกว่า crista galli เป็นที่เกาะของเยื่อหุ้มสมอง อีกแผ่นยื่นลงล่าง เรียกว่า perpendicular plate ประกอบเป็นส่วนบนของแผ่นกั้นจมูก ส่วนของกระดูกที่อยู่ทางข้างของ cribriform plate มีโพรงอากาศอยู่ภายใน เรียกว่า ethmoid sinuses และมีแผ่นกระดูกม้วนยื่นเข้าไปทางด้านข้างของโพรงจมูกข้างละ 2 แผ่น แผ่นบน เรียกว่า superior nasal turbinate แผ่นล่าง เรียกว่า middle nasal turbinate แผ่นกระดูกเหล่านี้มีเยื่อบุโพรงจมูกคลุมทับและมีเมือกปกคลุมอยู่ การมีแผ่นกระดูกม้วนทำให้เกิดกระแสวนในขณะหายใจเข้า ฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนมากับอากาศจะถูกจับกับเมือกที่อยู่บนเยื่อบุ

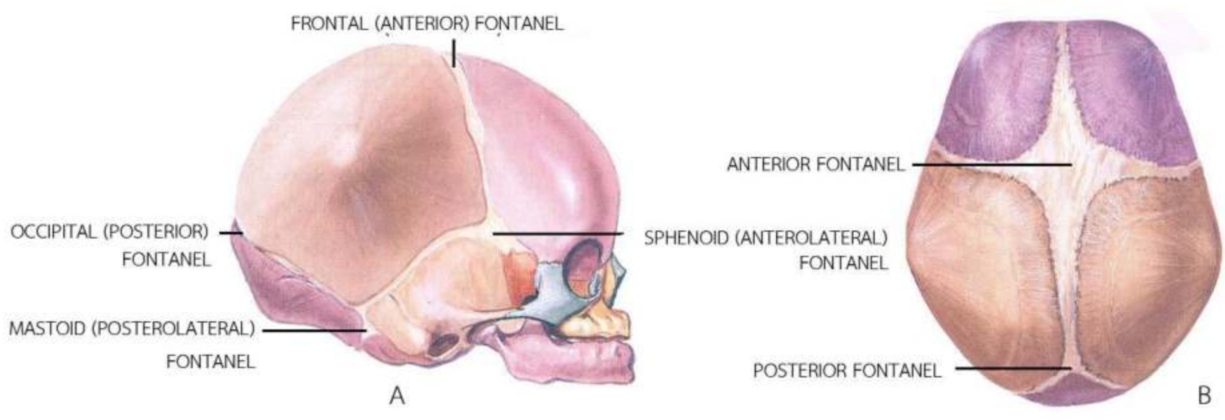



รูปที่ 5-15 แสดงกายวิภาคของกระดูก Sphenoid bone และกระดูก Ethmoid bone

**กระหม่อม (Fontanel) ในเด็กแรกเกิด**

ข้อต่อของกะโหลกศีรษะจะยังไม่เชื่อมติดกัน แต่จะถูกยึดติดกันไว้ด้วยกระดูกอ่อนหรือพังผืด คลำได้เป็นจุดนิ่มๆ บนกะโหลกศีรษะ เรียกว่า **กระหม่อม (fontanel)** ซึ่งมีประโยชน์สำคัญในระหว่างการคลอด และสามารถขยายออกเมื่อสมองมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในวัยทารก หลังจากนั้นกระหม่อมจะถูกพัฒนาเป็นกระดูกแข็ง เห็นเป็นรอยต่อของกะโหลกศีรษะ

ตำแหน่งของกระหม่อม ได้แก่ anterior fontanel, posterior fontanel, anterolateral fontanel และ posterolateral fontanel




รูปที่ 5-16 แสดงกายวิภาคของกระหม่อมทางด้านข้าง (A) และด้านบน (B)

## กระดูกใบหน้า (Facial bones)

Facial bones สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงอายุ 1-2 ปี สมองและกะโหลกศีรษะขยายขึ้น ฟันมีการเจริญเติบโต โพรงอากาศรอบจมูกขยายโตขึ้น การเจริญของใบหน้าจะหยุดเมื่ออายุ 16 ปี กระดูกใบหน้าประกอบด้วยกระดูกแข็ง 14 ชิ้น ได้แก่

**1. Nasal bones** หมายถึง กระดูกจมูก มี 2 ชิ้น อยู่ตรงกลางส่วนบนของใบหน้า ประกอบกันเป็นส่วนดั้งของจมูก

**2. Maxillae** หมายถึง กระดูกกรามบน มี 2 ชิ้นมาเชื่อมต่อกันตรงกลาง กระดูก maxillae แต่ละข้างมีโพรงอากาศรูปสามเหลี่ยมขนาดใหญ่ เรียกว่า maxillary sinus ซึ่งมีรูเปิดติดต่อกับโพรงจมูก ขอบล่างเป็นที่อยู่ของร่องฟัน ด้านในมีแผ่นกระดูกยื่นเข้าไปในช่องปาก เรียกว่า palatine process ประกอบเป็นส่วนหน้าประมาณ 3/4 ของเพดานแข็ง

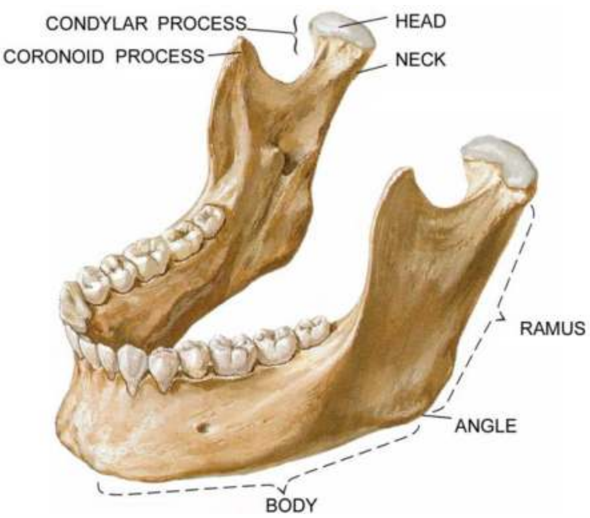
**3. Zygomatic bones** หมายถึง กระดูกโหนกแก้ม มี 2 ชิ้น ประกอบเป็นพื้นทางด้านล่างและด้าน ข้างของเบ้าตา

**4. Mandible** หมายถึง กระดูกกรามล่าง เป็นกระดูกใบหน้าที่มีขนาดใหญ่และแข็งแรงที่สุด และเป็นกระดูกใบหน้าเพียงชิ้นเดียวที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

=> **Body** เป็นส่วนที่อยู่ในแนวราบ ลักษณะโค้ง

=> **Ramus** เป็นส่วนที่ต่อจาก body ออกไปทั้ง 2 ข้างตามแนวตั้ง ส่วนปลายบนของ ramus แต่ละข้างจะมีกระดูก 2 ปุ่ม ปุ่มที่อยู่ทางด้านหน้า เรียกว่า coronoid process ปุ่มทางด้านหลัง เรียกว่า condylar process

=> **Angle** เป็นส่วนต่อระหว่าง body กับ ramus




รูปที่ 5-17 แสดงกายวิภาคของกระดูกกรามล่าง

**5. Lacrimal bones** หรือ กระดูกน้ำตา มี 2 ชิ้น เป็นกระดูกที่มีขนาดเล็กที่สุดของกระดูกใบหน้าและบางมาก ลักษณะคล้ายเล็บมือ ประกอบเป็นผนังด้านในของเบ้าตา บนกระดูกจะมีร่องเล็ก ๆ เป็นทางผ่านของท่อน้ำตานำน้ำตาจากถุงน้ำตา ที่อยู่เหนือคิ้วลงสู่จมูก

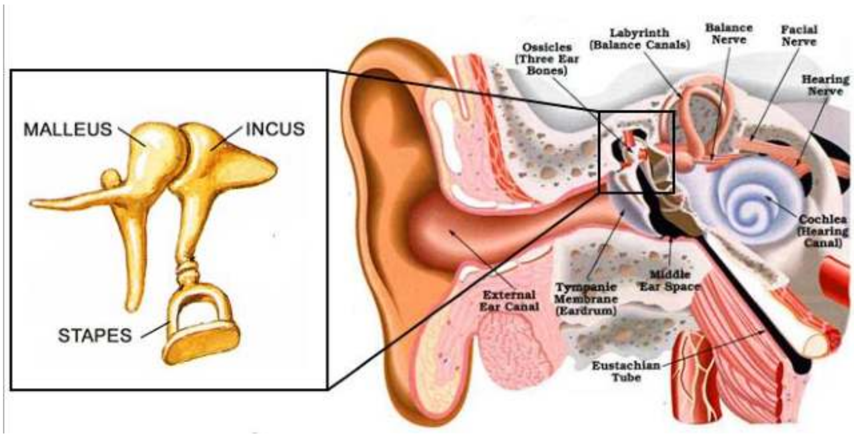
**6. Palatine bones** มี 2 ชิ้น มีลักษณะคล้ายพยัญชนะตัวแอล (L) เมื่อประกอบกับ palatine process ของกระดูก maxillae ทำให้เกิดเป็นเพดานแข็ง กระดูก palatine bones มีตำแหน่ง 1/3 ทางด้านหลังของเพดานแข็ง

**7. Inferior nasal turbinate** เป็นแผ่นกระดูกที่มีลักษณะขดม้วนยื่นออกมาจากผนังด้านข้างของโพรงจมูก ช่วยให้อากาศที่หายใจเข้าไปเกิดเป็นกระแสวนภายในโพรงจมูก ช่วยกักฝุ่นละอองและเชื้อโรคที่ปะปนมากับอากาศไม่ให้เข้าปอด

**8. Vomer** เป็นกระดูกรูปสามเหลี่ยม วางตัวอยู่ด้านล่างและค่อนไปทางด้านหลังของแผ่นกั้นจมูก ด้านหน้าเชื่อมต่อกับกระดูกอ่อนของแผ่นกั้นจมูก

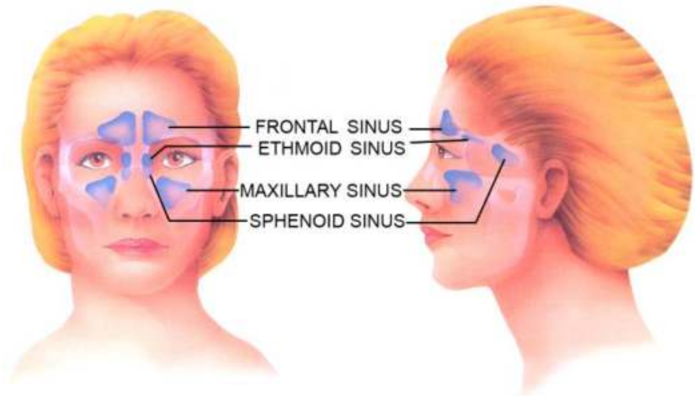
## กระดูกหู (Ear ossicles)

หมายถึง กระดูกหู พบอยู่ในหูส่วนกลาง มีจำนวนข้างละ 3 ชิ้น ได้แก่ Malleus (กระดูกค้อน) กระดูกทั่ง (incus) และกระดูกโกลน (stapes) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณคลื่นเสียง




รูปที่ 5-18 แสดงกายวิภาคของกระดูกหู

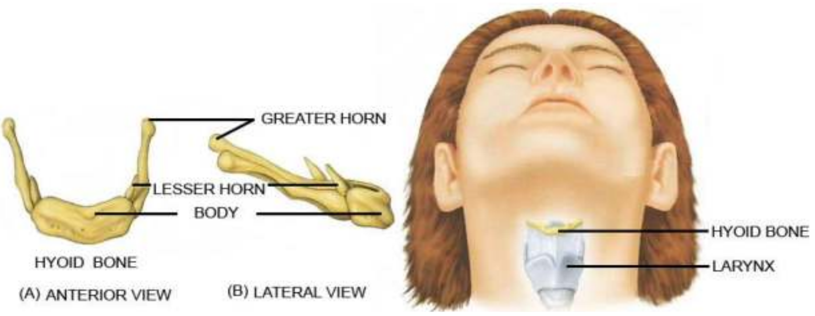
**Paranasal sinuses** หมายถึง โพรงอากาศรอบจมูก ได้แก่ frontal sinuses, sphenoid sinuses, ethmoid sinuses และ maxillary sinuses โพรงอากาศเหล่านี้ ช่วยทำให้เกิดเสียงก้อง




รูปที่ 5-19 แสดงลักษณะและตำแหน่งของ Hyoid bone

## กระดูกโคนลิ้น (Hyoid bone)

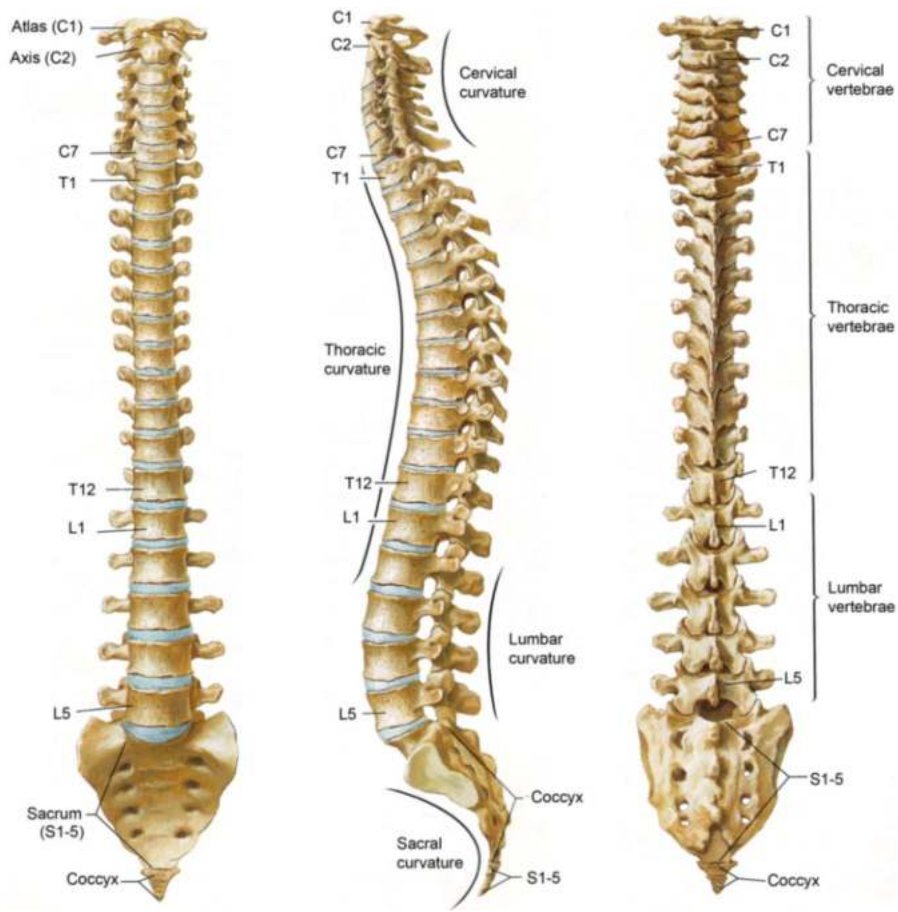
รูปร่างคล้ายตัวยู (U) อยู่ที่บริเวณคอ เหนือต่อกล่องเสียงและไม่ติดต่อกับกระดูกอื่นๆ เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อคอและกล้ามเนื้อลิ้น และช่วยในการยกตัวของกล่องเสียงในขณะพูดและกลืนอาหาร




รูปที่ 5-20 แสดงลักษณะและตำแหน่งของ Hyoid bone

## กระดูกสันหลัง (Vertebrae)

กระดูกสันหลังในเด็กมีจำนวน 33 ชิ้น และเมื่อโตเป็นผู้ใหญ่จะเชื่อมต่อกันเหลือเพียง 26 ชิ้น แต่ละชิ้นเรียงตัวต่อกันลักษณะเป็นแท่งยาว เรียกว่า vertebral column กระดูกสันหลังทำหน้าที่ป้องกันอันตรายต่อไขสันหลัง ค้ำจุนร่างกายและศีรษะ ช่วยถ่ายเทน้ำหนักจากส่วนบนของร่างกายลงสู่เท้าและขา รวมทั้งเป็นที่ยึดเกาะของกระดูกซี่โครงและกล้ามเนื้อต่าง ๆ




รูปที่ 5-21 แสดงกายวิภาคของกระดูกสันหลังด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลัง

**รูปร่างโดยทั่วไปของกระดูกสันหลัง**

กระดูกสันหลังแต่ละส่วนมีความแตกต่างกันที่ขนาด รูปร่าง และรายละเอียดบางอย่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยทั่วไปกระดูกสันหลังมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายกัน ดังนี้

**1. Body** หมายถึง ส่วนลำตัว ลักษณะเป็นแผ่นกลมหนา ผิวด้านบนและด้านล่างขรุขระ สำหรับเป็นที่เกาะของหมอนรองกระดูก (intervertebral disc) ทำหน้าที่รับน้ำหนัก

**2. Vertebral arch** เป็นแท่งกระดูกโค้งที่ติดอยู่ด้านหลังของ body ประกอบด้วย Pedicle เป็นแท่งกระดูกหนา สั้น ยื่นออกจากส่วนหลังทั้ง 2 ข้างของส่วนลำตัว ออกไปเชื่อมต่อกับเป็นแผ่นกระดูกแบนที่ เรียก Lamina

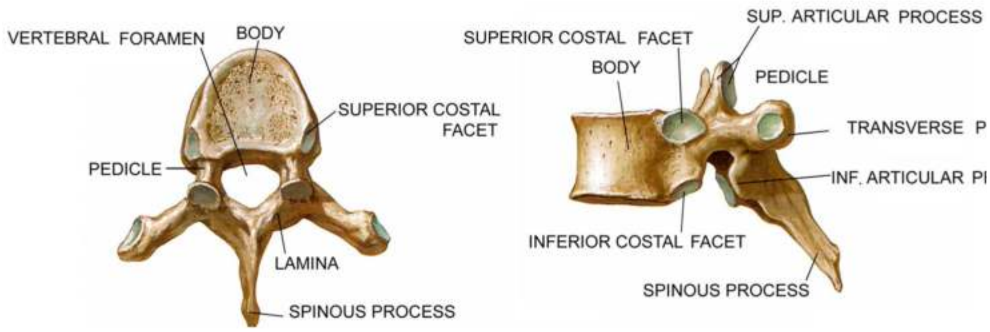
ช่องที่ล้อมรอบ body กับ vertebral arch เรียกว่า vertebral foramen เป็นที่อยู่ของไขสันหลัง ขอบบนล่างของ pedicle มีรอยเว้า เมื่อกระดูกมาเรียงต่อกัน จะเกิดเป็นช่อง เรียกว่า intervertebral foramen เป็นทางผ่านของเส้นประสาทไขสันหลัง

**3. Process** เป็นปุ่มกระดูกที่ยื่นออกจาก vertebral arch มีจำนวน 7 อัน คือ

3.1 Transverse process เป็นปุ่มกระดูกที่ยื่นออกทางด้านข้างทั้ง 2 ข้าง

3.2 Spinous process เป็นปุ่มกระดูกที่ยื่นออกจากกึ่งกลางของ vertebral arch ออกไปทางด้านหลัง และชี้ลงด้านล่าง

3.3 Articular process มี 4 อัน อยู่ทางด้านบน 2 อัน เรียกว่า superior articular facets และทางด้านล่าง 2 อัน เรียกว่า inferior articular facets สำหรับเชื่อมต่อกับกระดูกสันหลังที่อยู่ติดกัน




รูปที่ 5-22 แสดงกายวิภาคของกระดูกสันหลัง

**กระดูกสันหลังส่วนคอ (Cervical vertebrae, Cervical spine, C-spine)**

กระดูกสันหลังส่วนคอมี 7 ชิ้น ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างค้ำจุนคอและศีรษะ เรียกชื่อเรียงจากบนลงล่าง ตาม ลำดับ ได้แก่ Cervical vertebrae 1-7 (C1-C7) ลักษณะสำคัญกระดูกสันหลังส่วนคอ คือ

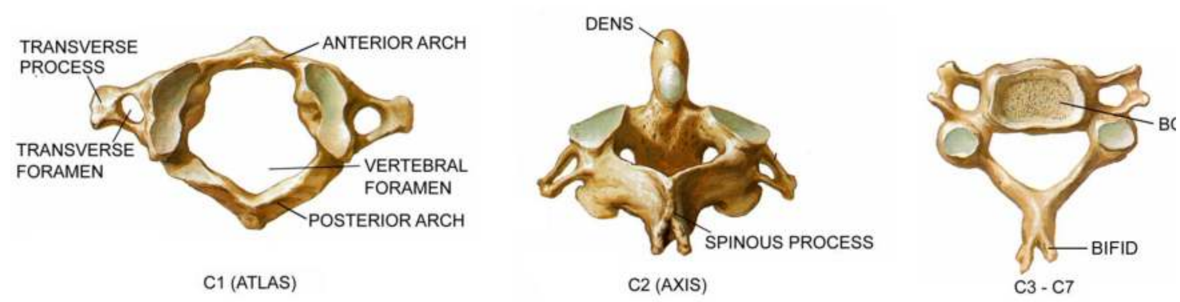
1. Body มีขนาดเล็ก

2. Transverse process ระดับ C1-C6 มีรูเรียกว่า transverse foramen รูนี้เป็นทางผ่านของหลอดเลือดแดงขึ้นไปเลี้ยงสมอง

3. Spinous process ระดับ C2-C6 ค่อนข้างสั้นและปลายแยกเป็น 2 แฉก ยกเว้น C7

Cervical vertebrae อันที่ 1 (C-1) มีชื่อเฉพาะเรียกว่า Atlas ทำหน้าที่รับน้ำหนักกะโหลกศีรษะ กระดูกมีรูปร่างคล้ายวงแหวน ไม่มีส่วน body และ spinous process

Cervical vertebrae อันที่ 2 (C-2) มีชื่อเฉพาะเรียกว่า Axis มีปุ่มยื่นขึ้นมาจาก body ขึ้นมาด้านบน เรียกว่า dens หรือ odontoid process




รูปที่ 5-23 แสดงกายวิภาคของกระดูกสันหลังส่วนคอ

**กระดูกสันหลังส่วนอก (Thoracic vertebrae, Thoracic spine, T-spine)**

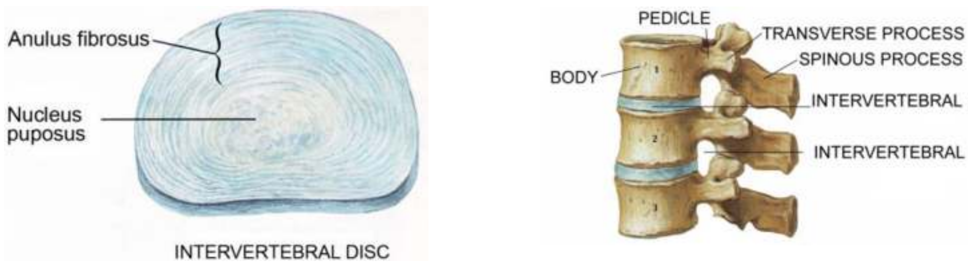
กระดูกสันหลังส่วนอกมี 12 ชิ้น เรียกชื่อเรียงตามลำดับจากบนลงล่างเป็น Thoracic vertebrae 1-12 (T1–T12) เป็นที่เกาะของกระดูกซี่โครง ทำให้เกิดลักษณะเป็นโครงอก กระดูกสันหลังส่วนอกมีขนาดใหญ่กว่าส่วนคอ มี spinous process ค่อนข้างยาว และวางตัวเฉียงลงมาทางด้านล่าง ส่วน body ของกระดูกสันหลังส่วนอก มีจุดเชื่อมต่อกับส่วนหัวของกระดูกซี่โครง

**กระดูกสันหลังส่วนเอว (Lumbar vertebrae, Lumbar spine, L-spine)**

กระดูกสันหลังส่วนเอว (lumbar vertebrae) มี 5 ชิ้น เรียกชื่อตามลำดับจากบนลงล่างว่า Lumbar vertebrae 1-5 (L1–L5) มีขนาดใหญ่และแข็งแรงมากที่สุด เนื่องจากต้องรับน้ำหนักมาก

**หมอนรองกระดูกสันหลัง (Intervertebral disc)**

หมอนรองกระดูกสันหลังเป็นตัวกั้นระหว่างกระดูกสันหลังแต่ละอัน ทำหน้าที่กระจายแรง รับน้ำหนัก และแรงกระแทกตามแนวสันหลัง รวมทั้งช่วยในการเคลื่อนไหวของข้อต่อกระดูกสันหลัง การเคลื่อนของหมอนรองกระดูกไปทางด้านหลัง จะกดไขสันหลังและเส้นประสาทไขสันหลัง



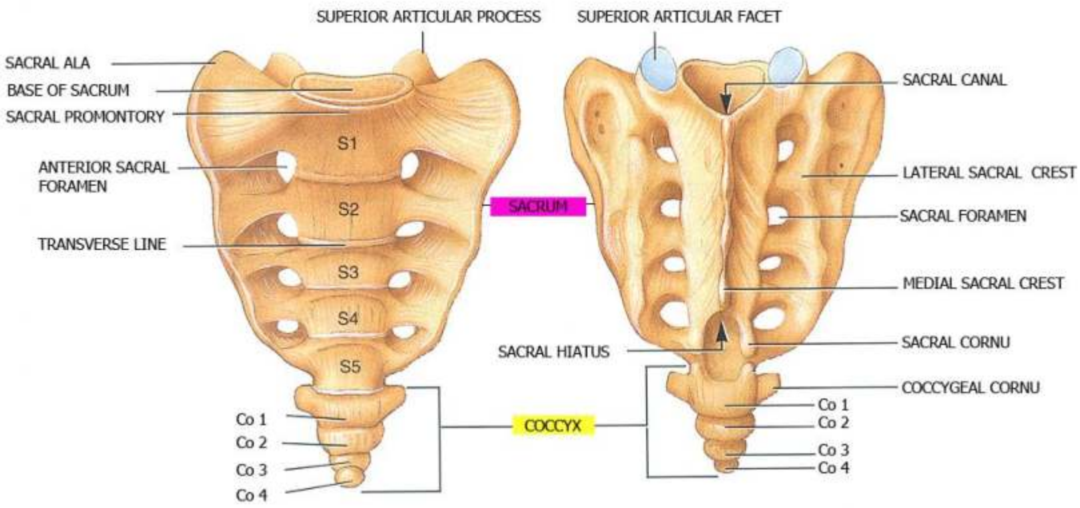

รูปที่ 5-24 แสดงกายวิภาคของหมอนรองกระดูกสันหลัง

**กระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacral vertebrae, Sacrum, S)**

มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ประกอบด้วย sacral vertebrae 5 อัน (S1-S5) เชื่อมติดกัน วางตัวอยู่ตรงกลางระหว่างกระดูกสะโพกทั้ง 2 ข้าง ประกอบเป็นผนังส่วนหลังของเชิงกราน ทางด้านบนมีช่องที่ต่อเนื่องลงมาจากช่องโพรงไขสันหลัง เรียกว่า sacral canal

### กระดูกสันหลังส่วนก้นกบ (Coccygeal vertebrae, Coccyx, Co)

เป็นกระดูกรูปสามเหลี่ยม ประกอบด้วย coccygeal vertebrae 4 อัน (Co1-Co4) เชื่อมติดกัน ติดอยู่ที่ส่วนล่างของกระเบนเหน็บ กระดูกก้นกบจะโค้งงอมาทางด้านหน้า ช่วยเพิ่มความสมดุลในขณะทรงตัว และลดการกระแทกขณะเดิน

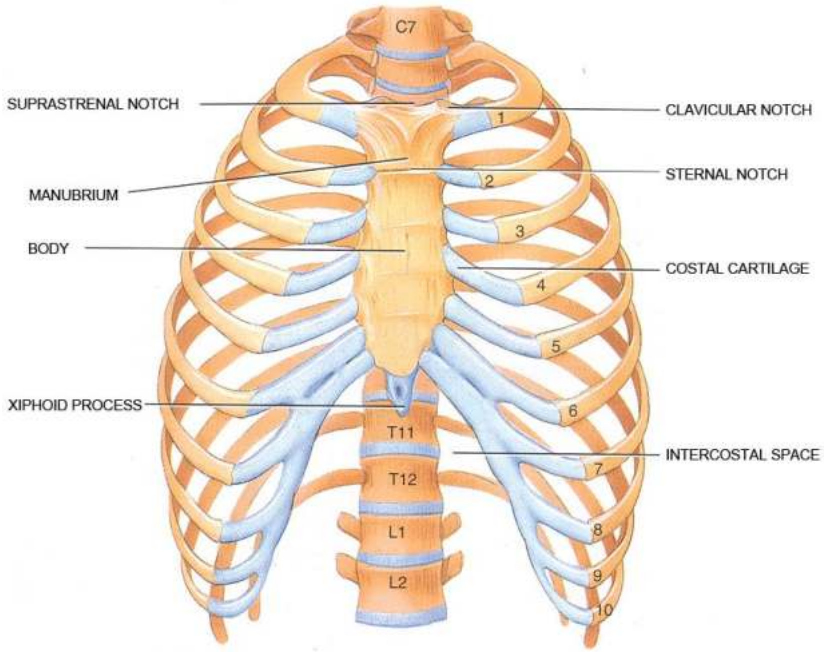



รูปที่ 5-25 แสดงกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บและก้นกบ

## กระดูกซี่โครง (Ribs)

กระดูกซี่โครงมีจำนวน 12 คู่ ประกอบเป็นด้านข้างของผนังทรวงอก กระดูกมีลักษณะยาวเรียว โค้ง กระดูกซี่โครง แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

**1. True ribs** หมายถึง กระดูกซี่โครงคู่ที่ 1-7 กระดูกซี่โครงแต่ละอันจะยึดกับ sternum ทางด้านหน้าโดยตรง โดยมีกระดูกอ่อน เรียกว่า costal cartilage เป็นตัวเชื่อม




รูปที่ 5-26 แสดงกายวิภาคของกระดูกซี่โครง (ribs) และกระดูกหน้าอก (sternum)

**2. False ribs** หมายถึง กระดูกซี่โครงคู่ที่ 8-12 กระดูกซี่โครงไม่มีกระดูกอ่อนยึดติดกับ sternum โดยตรง กระดูกกลุ่มนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

2.1 Vertebrochondral ribs หมายถึง กระดูกซี่โครงคู่ที่ 8, 9, 10 กระดูกอ่อนของซี่โครงทั้ง 3 ชิ้นนี้ จะมารวมกัน และไปเกาะกับกระดูกอ่อนของกระดูกซี่โครงคู่ที่ 7

2.2 Floating ribs หมายถึง กระดูกซี่โครงคู่ที่ 11 และ 12 ปลายด้านหน้าไม่ได้ยึดติดกับ sternum

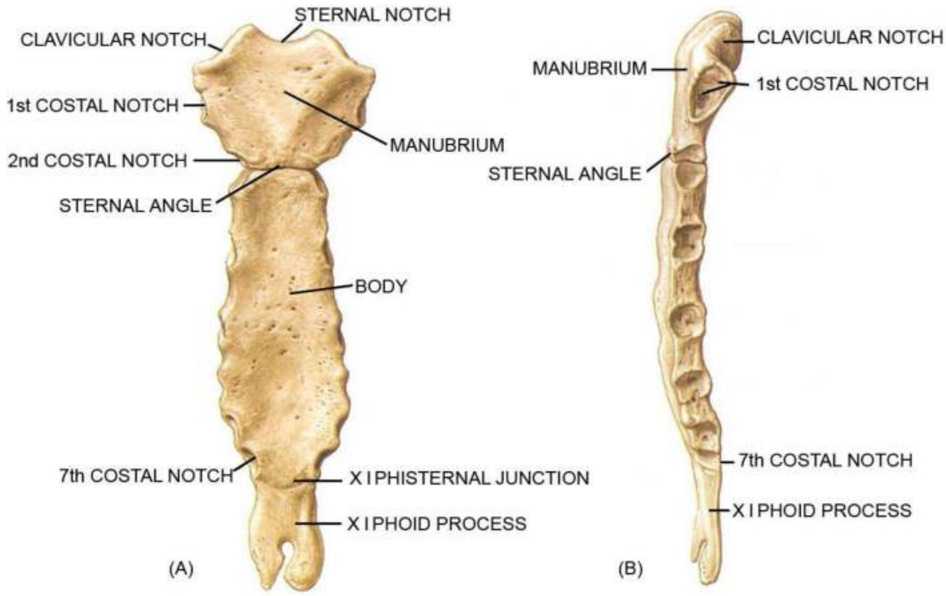
## กระดูกหน้าอก (Sternum)

Sternum เป็นกระดูกรูปร่างแบน อยู่ตรงกลางทางด้านหน้าของทรวงอก ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

**1. Manubrium** อยู่ส่วนบนสุด ขอบบนมีรอยเว้า เรียกว่า suprasternal notch ทางด้านข้างมีแอ่งสำหรับประกอบเป็นข้อต่อกับกระดูกไหปลาร้า และซี่โครง

**2. Body** อยู่ส่วนกลาง มีขนาดใหญ่ที่สุด ทางด้านข้างเชื่อมต่อกับกระดูกซี่โครงโดยกระดูกอ่อนที่เรียกว่า costal cartilage

**3. Xiphoid process** อยู่ส่วนปลายสุด รูปร่างไม่ค่อยแน่นอน เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อท้อง

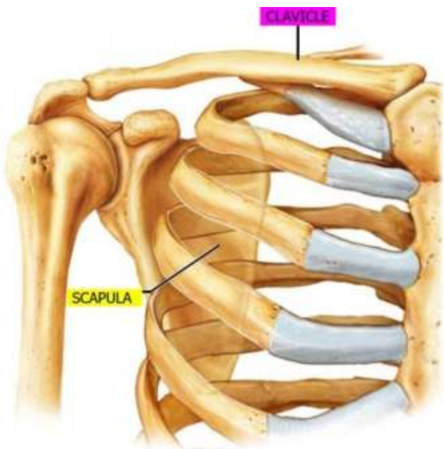



รูปที่ 5-27 แสดงกายวิภาคของกระดูกหน้าอก

# กระดูกระยางค์
# (The appendicular skeleton)

## กระดูกช่วงไหล่ (Shoulder girdle, Pectoral girdle)

เป็นส่วนที่ยึดกระดูกแขนไว้กับกระดูกแกนของร่างกาย ช่วงไหล่แต่ละข้างประกอบด้วยกระดูก 2 ชิ้น คือ กระดูกสะบัก (scapula) และกระดูกไหปลาร้า (clavicle)

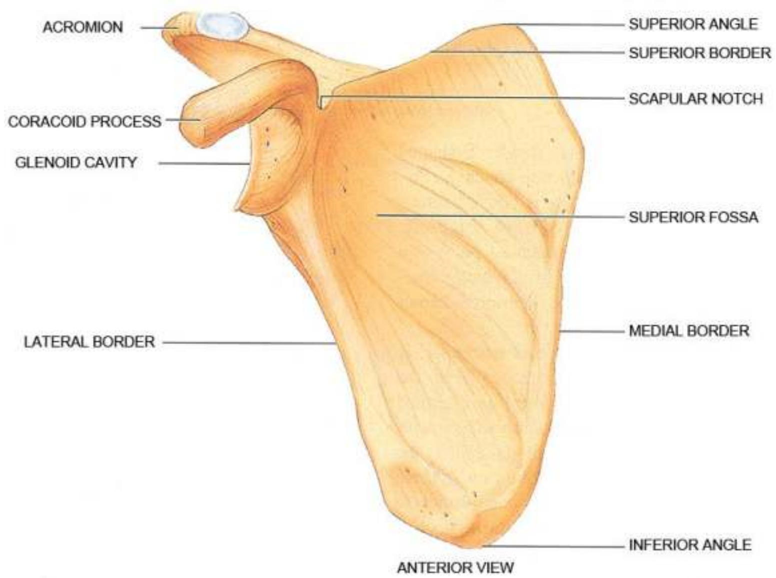



รูปที่ 5-28 แสดงกายวิภาคของกระดูกช่วงไหล่ ประกอบด้วยกระดูก Clavicle และ Scapula

### กระดูกสะบัก (Scapula)

Scapula เป็นกระดูกแบนรูปสามเหลี่ยม วางตัวอยู่ด้านหลังของทรวงอกระดับกระดูกซี่โครงคู่ที่ 2-7 ขอบด้านในอยู่ห่างจากกึ่งกลางของกระดูกสันหลัง ประมาณ 2 นิ้ว

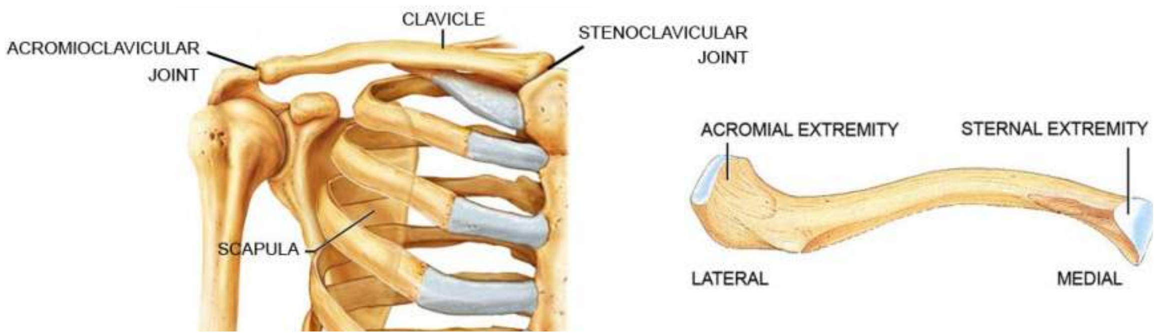
ผิวด้านหลังของ scapula มีสันนูนตามขวางเรียกว่า spine ตรงส่วนปลายของ spine จะมีลักษณะเป็นตุ่มแบนใหญ่ เรียกว่า acromion ไปประกอบเป็นข้อต่อกับกระดูกไหปลาร้า เรียกว่า acromioclavicular joint ขอบด้านนอกต่ำกว่า acromion มีแอ่งกลม เรียกว่า glenoid cavity หรือ glenoid fossa ขอบด้านบนมีปุ่มยื่นไปทางด้านหน้ามีลักษณะคล้ายตะขอ เรียกว่า coracoid process




รูปที่ 5-29 แสดงกายวิภาคของกระดูกสะบัก

### กระดูกไหปลาร้า (Clavicle)

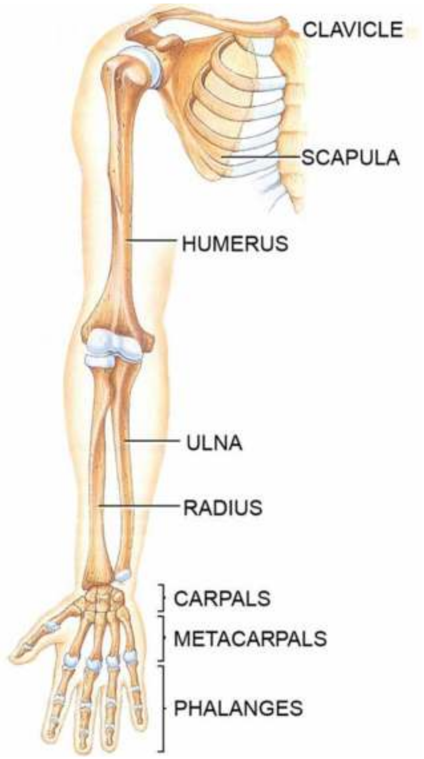
Clavicle มีรูปร่างแบน ยาวเรียว โค้งคล้ายตัวอักษรเอส (S) วางตัวในแนวนอนอยู่ตรงส่วนบนของทรวงอก ทางด้านหน้าเหนือกระดูกซี่โครงคู่ที่ 1 ปลายด้านในเรียกว่า sternal extremity ประกอบเป็นข้อต่อกับ sternum เรียกข้อต่อนี้ว่า sternoclavicular joint ปลายด้านนอก เรียกว่า acromial extremity ประกอบเป็นข้อต่อกับ acromion ของกระดูกสะบัก เรียกข้อต่อนี้ว่า acromioclavicular joint




รูปที่ 5-30 แสดงกายวิภาคของกระดูกไหปลาร้า

## กระดูกระยางค์บน (Bone of the upper limb, Upper extremity)

กระดูกระยางค์บน มีจำนวน 60 ชิ้น แบ่งเป็น 2 ข้างๆ ละ 30 ชิ้น แต่ละข้างประกอบด้วยกระดูกต้นแขน (humerus) กระดูกแขนด้านนิ้วหัวแม่มือ (radius) และ กระดูกแขนด้านนิ้วก้อย (ulna) อย่างละ 1 ชิ้น กระดูกข้อมือ (carpal bones) 8 ชิ้น กระดูกฝ่ามือ (metacarpal bones) 5 ชิ้น และกระดูกนิ้วมือ (phalanges) 14 ชิ้น

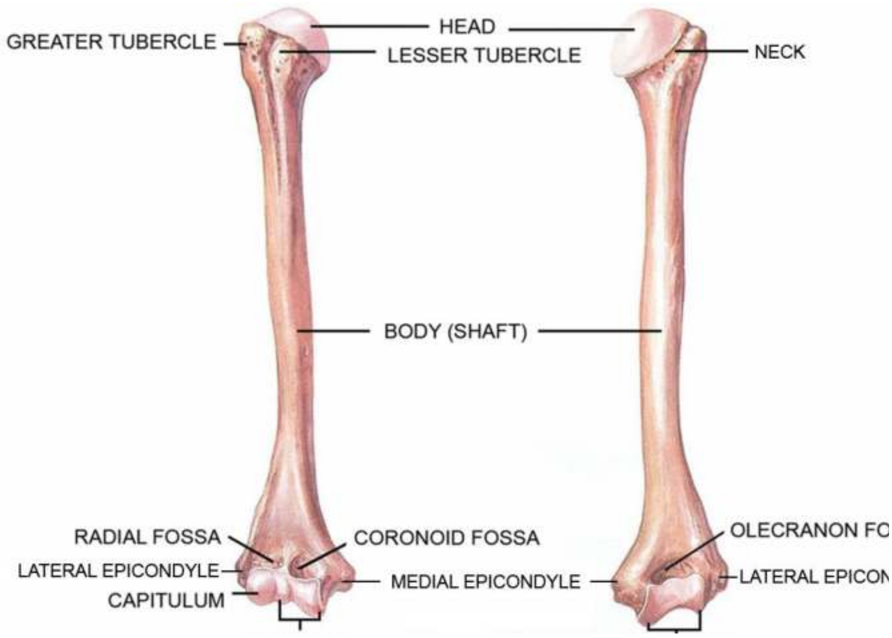



รูปที่ 5-31 แสดงกายวิภาคของกระดูกรยางค์บน

## กระดูกต้นแขน (Humerus)

**Humerus**

เป็นกระดูกรยางค์บนที่ยาวและใหญ่ที่สุด ปลายบนมีลักษณะมนกลม เรียกว่า **head of humerus** ประกอบเป็นข้อไหล่กับ **glenoid cavity** ของกระดูกสะบัก ใต้ต่อส่วน head เป็น **neck of humerus** ส่วน body (shaft) มีลักษณะเป็นแท่งยาวทรงกระบอก ปลายล่างสุดมีโครงสร้างไปประกอบกับกระดูกปลายแขน




รูปที่ 5-32 แสดงกายวิภาคของกระดูกต้นแขน

## กระดูกปลายแขน (Radius and Ulna)

**Radius** เป็นกระดูกแขนด้านนิ้วหัวแม่มือ มีลักษณะเรียวยาว ปลายบนรูปร่างกลมแบน เรียกว่า head of radius ใต้ต่อส่วน head เป็นคอคอดเรียกว่า neck of radius ถัดลงมาเป็นส่วน body หรือ shaft of radius ซึ่งกว้างมากขึ้นเรื่อยๆ ปลายล่างสุดเป็นแอ่งเว้าประกอบเป็นข้อต่อกับกระดูกข้อมือ

**Ulna** เป็นกระดูกแขนด้านนิ้วก้อย ส่วนปลายบนงุ้มคล้ายตะขอ เข้าไปเกี่ยวกับแอ่งของกระดูกต้นแขน ปลายล่างเรียกว่า head of ulna ซึ่งด้านในมีปุ่มเล็กๆ ยื่นออกมา เรียกว่า styloid process of ulna

## กระดูกข้อมือ (Carpal bones)

Carpal bones แต่ละข้างประกอบด้วยกระดูก 8 ชิ้น เรียงตัวเป็นแถวตามขวาง 2 แถว แถวละ 4 ชิ้น เรียกชื่อตามรูปร่าง ดังนี้

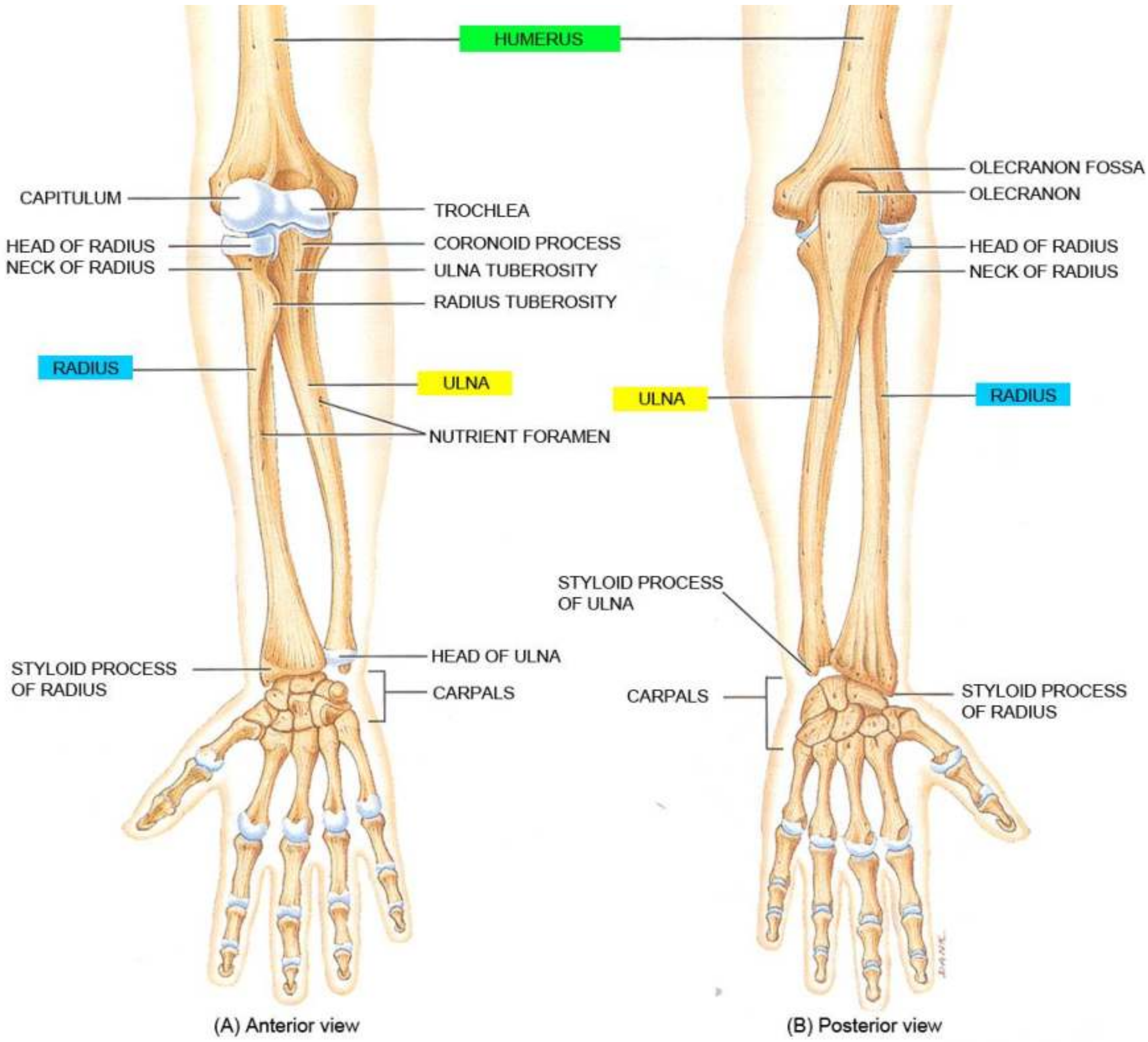
=> แถวบนเรียงจากด้านนิ้วโป้งไปนิ้วก้อย ได้แก่ Scaphoid, Lunate, Triquetrum และ Pisiform

=> แถวล่างเรียงจากด้านนิ้วโป้งไปนิ้วก้อย ได้แก่ Trapezium, Trapezoid, Capitate และ Hamate

## กระดูกฝ่ามือ (Metacarpal bones)

Metacarpal bones มีจำนวนข้างละ 5 ชิ้น เรียกชื่อตามลำดับเป็น 1-5 metacarpal bone (MCP) โดยนับจากชิ้นที่อยู่หัวแม่มือไปทางนิ้วก้อย

วิธีเรียกชื่อตามลำดับของ Metacarpal bones ของนิ้วหัวแม่มือเป็นลำดับที่ 1 ไปจนถึงนิ้วก้อย แล้วตามด้วยของมือขวาหรือมือซ้าย เช่น 1st metacarpal of right/left hand

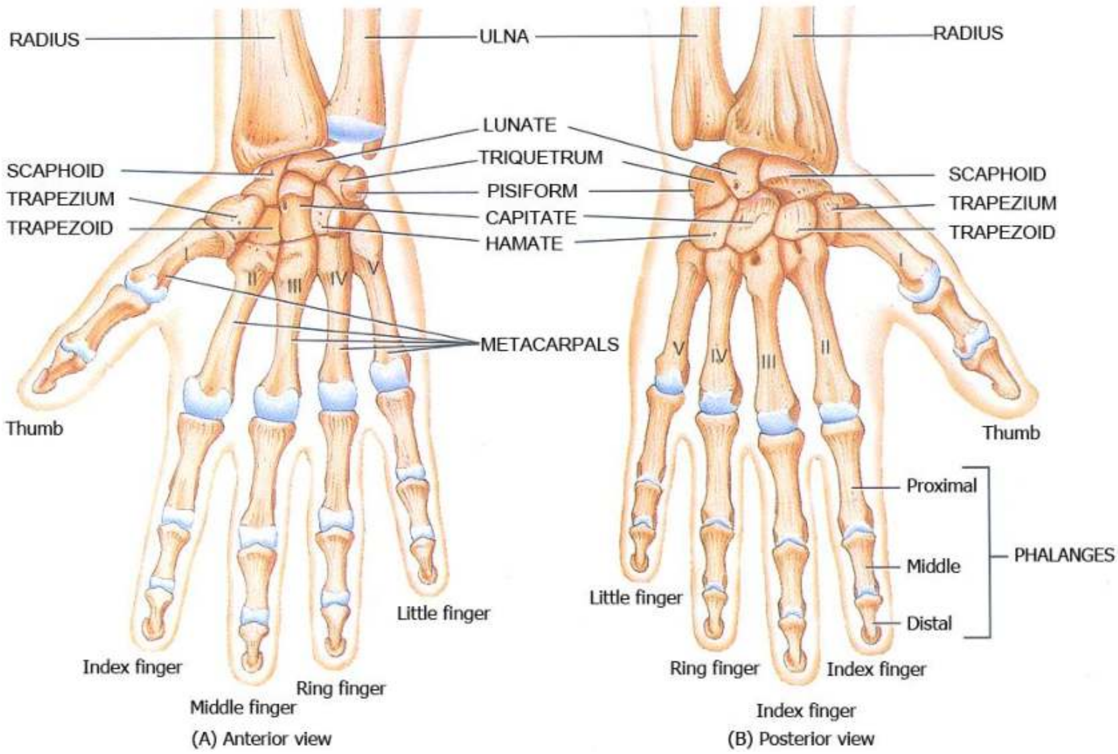



รูปที่ 5-33 แสดงกายวิภาคของกระดูก radius และ ulna ทางด้านหน้า (A) และด้านหลัง (B)

## กระดูกนิ้วมือ (Phalanges)

Phalanges มีจำนวนข้างละ 14 ชิ้น แต่ละนิ้วประกอบด้วยกระดูกนิ้วมือ 3 ชิ้น เรียงจากโคนนิ้วไปยังปลายนิ้ว คือ proximal phalanx, middle phalanx และ distal phalanx ยกเว้นหัวแม่มือ มี 2 ชิ้น คือ proximal phalanx และ distal phalanx กระดูกนิ้วมือแต่ละชิ้นประกอบด้วย base, shaft และ head of phalanges

วิธีเรียกชื่อ ให้ดูว่าเป็น proximal/middle/distal phalanx ของนิ้วมือข้างใด เช่น proximal phalanx of right index finger




รูปที่ 5-34 แสดงกายวิภาคของกระดูกข้อมือและกระดูกนิ้วมือ

## กระดูกระยางค์ล่าง (Bone of the lower limb, Lower extremity)

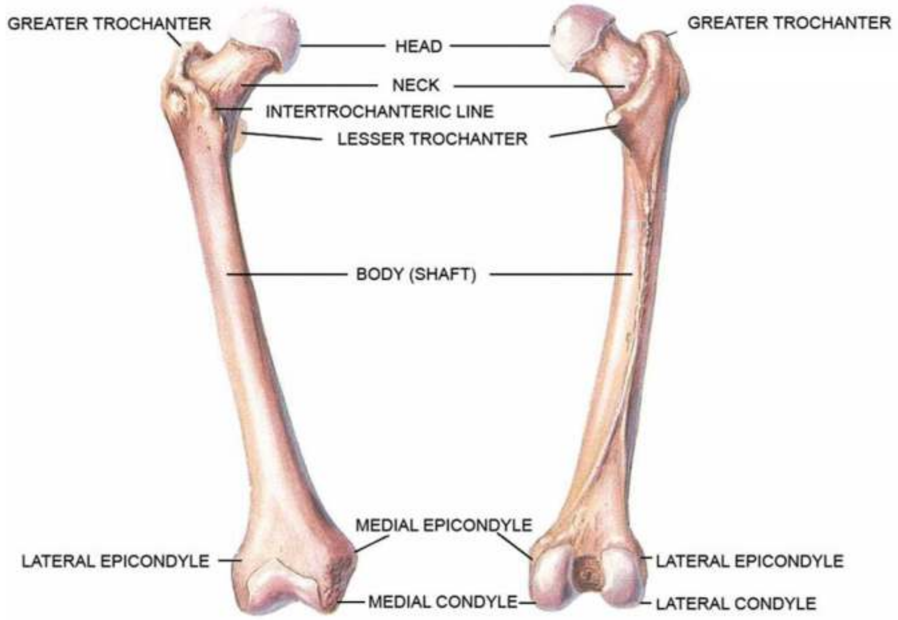
กระดูกระยางค์ล่าง ทำหน้าที่รับน้ำหนักของร่างกาย จึงมีความแข็งแรงและมีขนาดใหญ่ กระดูกระยางค์ล่าง ประกอบด้วย กระดูกต้นขา (Femur) กระดูกแข้ง (Tibia) กระดูกน่อง (Fibula) กระดูกสะบ้า (Patella) อย่างละ 2 ชิ้น กระดูกข้อเท้า (Tarsal bones) 14 ชิ้น กระดูกฝ่าเท้า (Metatarsal bones) 10 ชิ้น และกระดูกนิ้วเท้า (Phalanges) 28 ชิ้น




รูปที่ 5-35 แสดงกายวิภาคของกระดูกระยางล่าง

## กระดูกต้นขา (Femur)

Femur เป็นกระดูกที่ยาวและหนักมากที่สุดในร่างกาย ปลายด้านบนมีลักษณะเป็นหัวกลมมน เรียกส่วนนี้ว่า **head of femur** ประกอบเป็นข้อต่อกับ **acetabulum** ของกระดูกสะโพก เกิดเป็นข้อสะโพก ต่ำลงมาเป็นคอคอด เรียกว่า **neck of femur** ใต้ต่อ neck มีปุ่มนูนสำหรับเป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อสะโพกและต้นขา 2 อัน

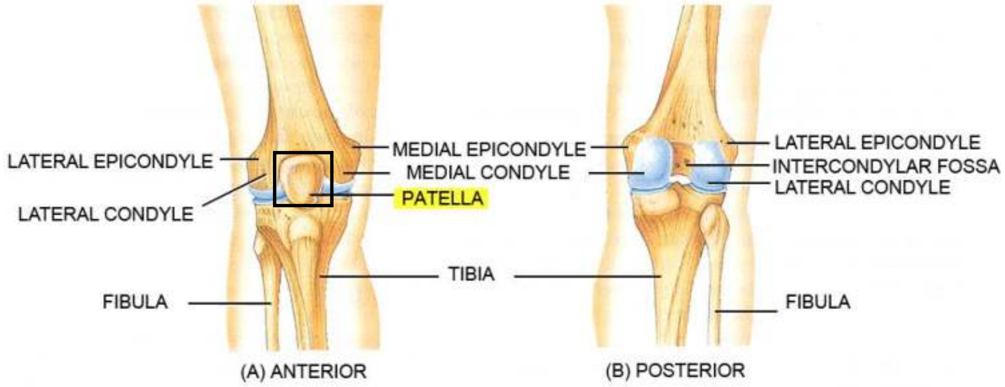


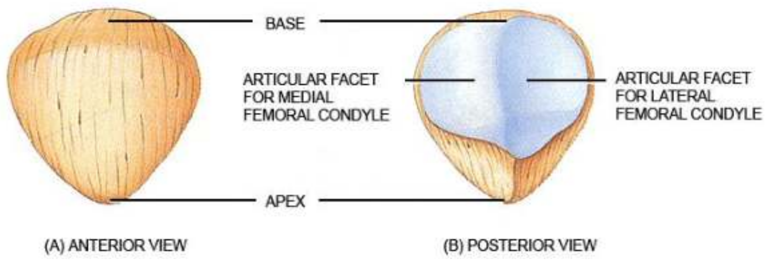

รูปที่ 5-36 แสดงกายวิภาคของกระดูกต้นขา

ปุ่มใหญ่ที่อยู่ทางด้านนอก เรียกว่า **greater trochanter** และปุ่มเล็กที่อยู่ทางด้านใน เรียกว่า **lesser trochanter** ปลายล่างของ femur แผ่ออกเป็น medial condyle และ lateral condyle ทางด้านในและด้านนอก ตามลำดับ เพื่อประกอบเป็นข้อต่อกับกระดูกปลายขา

## กระดูกสะบ้า (Patella)

Patella เป็นกระดูกชิ้นเล็กรูปสามเหลี่ยม วางอยู่ทางด้านหน้าของข้อเข่าและอยู่ในเอ็นของกล้ามเนื้อ กระดูกสะบ้ามีหน้าที่ช่วยป้องกันข้อเข่า



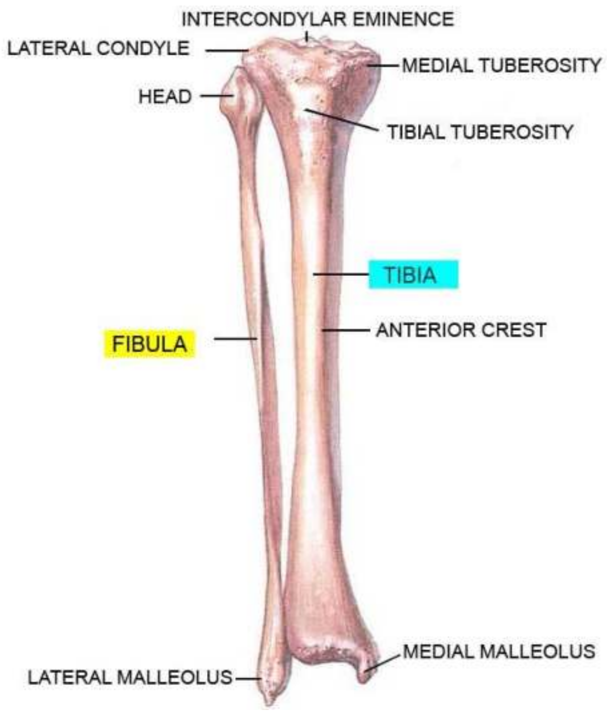



รูปที่ 5-37 แสดงกายวิภาคของกระดูกสะบ้า

## กระดูกแข้ง (Tibia)

**Tibia** อยู่ทางด้านหน้าของปลายขา ปลายบนแผ่ออกเพื่อไปประกอบเป็นข้อเข่ากับกระดูกต้นขา ปลายล่างของกระดูก tibia ยื่นไปทางด้านในเรียกว่า medial malleolus หรือตาตุ่มใน เป็นส่วนที่ไปประกอบกับกระดูก talus เป็นข้อเท้า

**Fibula** วางตัวอยู่ด้านข้างๆ ออกไปทางด้านหลังและด้านนอกต่อกระดูกแข้ง กระดูกมีขนาดเล็กยาวเรียว จึงทำหน้าที่เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อมากกว่าที่จะรับน้ำหนัก ปลายบนเรียกว่า head of fibula ส่วนปลายล่างด้านนอกเป็นปุ่มยื่น เรียกว่า lateral malleolus หรือตาตุ่มนอก




รูปที่ 5-38 แสดงกายวิภาคของกระดูก tibia และกระดูก fibula

## กระดูกเท้า (Bone of the foot)

กระดูกเท้าแต่ละข้างประกอบด้วยกระดูกจำนวน 26 ชิ้น ได้แก่ กระดูกข้อเท้า (Tarsal bones) 7 ชิ้น กระดูกฝ่าเท้า (Metatarsal bones) 5 ชิ้น และกระดูกนิ้วเท้า (Phalanges) จำนวน 14 ชิ้น

### กระดูกข้อเท้า (Tarsal bones)

กระดูกข้อเท้าแต่ละข้างประกอบด้วยกระดูกจำนวน 7 ชิ้น ได้แก่ Talus, Calcaneus, Navicular, Cuboid อย่างละ 1 ชิ้น และ Cuneiform 3 ชิ้น ($1^{st}$, $2^{nd}$, $3^{rd}$ Cuneiform)

### กระดูกฝ่าเท้า (Metatarsal bones)

กระดูกฝ่าเท้า มีจำนวน 5 ชิ้น เรียกชื่อตามลำดับว่า 1st, 2nd, 3th, 4th และ 5th metatarsal bone โดยนับจากชิ้นที่อยู่หัวแม่เท้าไปทางนิ้วก้อยเท้า กระดูกแต่ละชิ้นประกอบด้วยส่วน base (ฐาน) shaft (ลำตัว) และ head (ส่วนหัว)

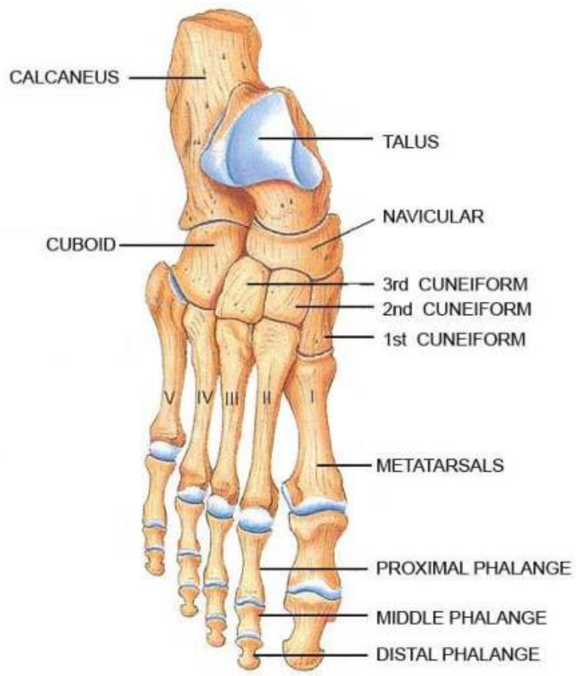
วิธีเรียกชื่อ ทำนองเดียวกับกระดูกฝ่ามือ เช่น 1st metatarsal of right foot

### กระดูกนิ้วเท้า (Phalanges)

กระดูกนิ้วเท้าแต่ละข้างมีจำนวน 14 ชิ้น มีการจัดเรียงตัวของนิ้วเท้าคล้ายกับนิ้วมือ เฉพาะกระดูกนิ้วหัวแม่โป้งเท้า มี 2 ชิ้น ได้แก่ proximal และ distal phalanges ส่วนนิ้วอื่นๆ มี 3 ชิ้น ได้แก่ proximal, middle และ distal phalanges

วิธีเรียกชื่อ ทำนองเดียวกับกระดูกนิ้วมือ เช่น proximal phalanx of right/left big toe

<u>หมายเหตุ</u> หัวแม่โป้งเท้า เรียกว่า big toe, นิ้วต่อมาเรียกว่า 2nd toe, 3th toe, 4th toe และ 5th toe ตามลำดับ

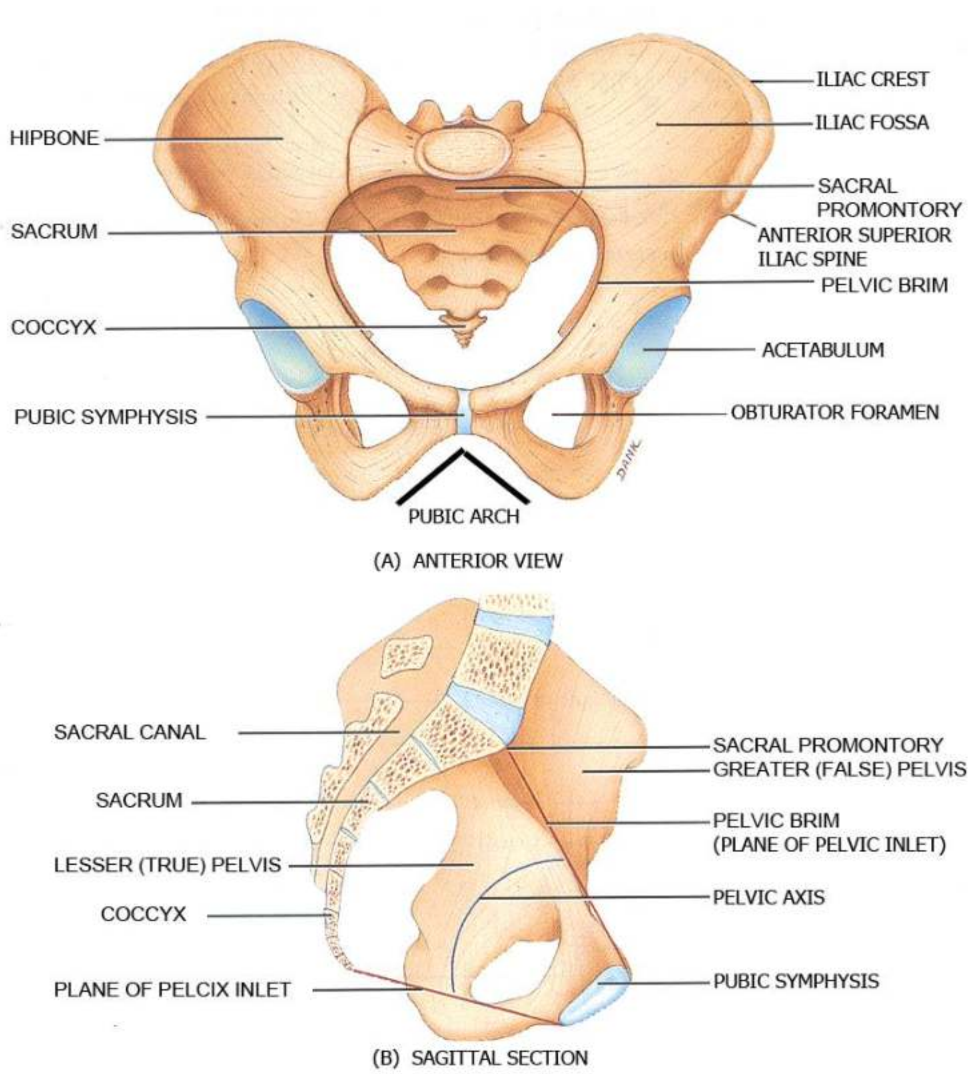



รูปที่ 5-39 แสดงกายวิภาคของกระดูกเท้า

## กระดูกสะโพก (Hip bone)

เชิงกรานประกอบด้วยกระดูกสะโพก เรียกว่า **Hip bone (Coxal bone)** จำนวน 2 ชิ้น ทำหน้าที่ค้ำจุนส่วนขาเพื่อรับน้ำหนักไว้ กระดูก hip bone 2 ข้าง เชื่อมต่อกันทางด้านหน้าเป็นข้อต่อ เรียกว่า **pubic symphysis (symphysis pubis)** และทางด้านหลังประกอบเป็นข้อต่อกับกระดูก sacrum

ในทารกแรกเกิด กระดูกสะโพกแต่ละข้าง ประกอบด้วยกระดูก 3 ชิ้น ได้แก่ **ilium, pubis และ ischium** เมื่อมีอายุมากขึ้น กระดูกทั้ง 3 ชิ้น จะเชื่อมติดเป็นกระดูกชิ้นเดียว บริเวณที่เป็นรอยต่อของกระดูกทั้ง 3 ชิ้น มีลักษณะเป็นหลุมรูปกลมลึก อยู่ทางด้านข้างของกระดูกสะโพก เรียกว่า **acetabulum** ทำหน้าที่เป็นเบ้ารับหัวกระดูกต้นขา

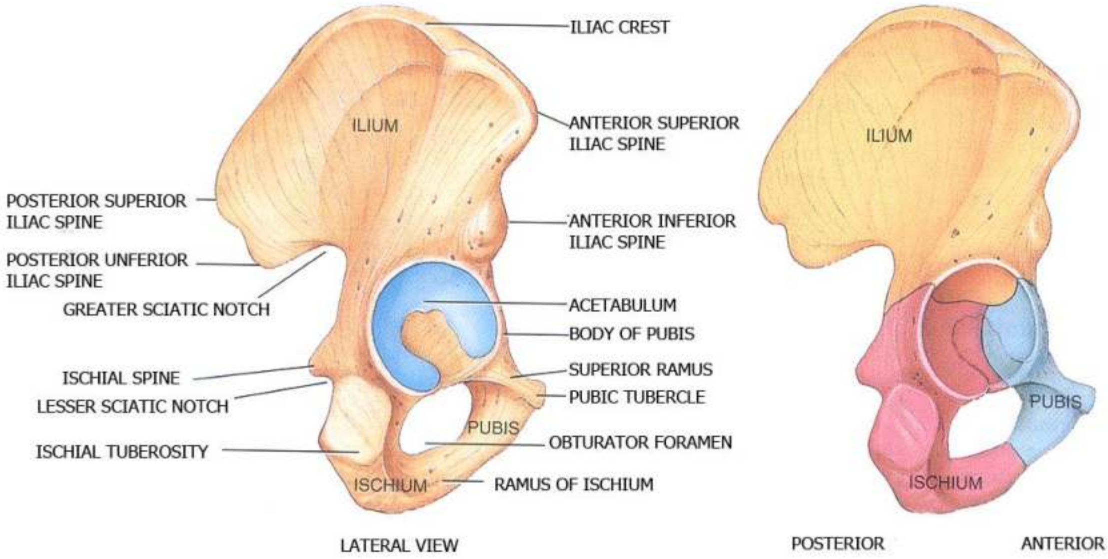



รูปที่ 5-40 แสดงกายวิภาคของกระดูกเชิงกรานทางด้านหน้า (A) และทางด้านข้าง (B)

**1. Ilium** เป็นกระดูกชิ้นที่ใหญ่ที่สุดของสะโพก ผิวทางด้านหน้ามีลักษณะเป็นแอ่งตื้นๆ เรียกว่า **iliac fossa** ขอบบนมีลักษณะเป็นสัน เรียกว่า **iliac crest** สันกระดูกนี้มาสิ้นสุดทางด้านหน้าเป็นปุ่มกระดูกที่เรียกว่า **anterior superior iliac spine** กระดูก ilium ไปประกอบเป็นข้อต่อทางด้านหลังกับกระดูก sacrum เรียกว่าข้อต่อ sacroiliac joint

**2. Ischium** อยู่ทางด้านล่างและค่อนไปทางด้านหลังของ hip bone ส่วนปลายมีปุ่มกระดูกยื่นออกมา เรียกว่า ischial spine

**3. Pubis** อยู่ทางด้านล่างค่อนมาทางด้านหน้า ประกอบด้วยส่วน body ที่มี superior ramus (ขาบน) และ inferior ramus (ขาล่าง) ยื่นไปเชื่อมกับกระดูก ischium ทางด้านหลัง ส่วน body แต่ละข้าง จะมาเชื่อมต่อกันตรงกลางเป็นข้อต่อ เรียกว่า **pubic symphysis** หรือหัวเหน่า ส่วนใต้ pubic symphysis มีลักษณะเป็นมุมคล้ายอักษรตัววี (V) กลับหัว เรียกว่า **pubic arch**




รูปที่ 5-41 แสดงกายวิภาคของกระดูกเชิงกรานทางด้านข้าง

กระดูก sacrum, coccyx, และ hip bone ทั้ง 2 ข้างประกอบกันเป็นโครงสร้างลักษณะคล้ายชามอ่าง เรียกว่า เชิงกราน (pelvis) ซึ่งแบ่งเป็นส่วนบนและส่วนล่าง โดยอาศัยแนวระดับของเส้นที่เชื่อมระหว่างปุ่มกระดูกใหญ่ของ sacrum ที่เรียกว่า sacral promontory ทางด้านหลังกับ pubic symphysis ทางด้านหน้า ขอบเขตของระนาบนี้ เรียกว่า pelvic brim

เชิงกรานส่วนบนที่อยู่เหนือต่อ pelvic brim เรียกว่า greater pelvis ซึ่งส่วนนี้ถือเป็นส่วนหนึ่งของช่องท้อง ไม่ได้เป็นที่อยู่ของอวัยวะในอุ้งเชิงกราน เว้นกระเพาะปัสสาวะเมื่อมีน้ำปัสสาวะเต็ม และมดลูกในขณะตั้งครรภ์ ทางเปิดจาก greater pelvis เข้าสู่ lesser pelvis เรียกว่า pelvis inlet

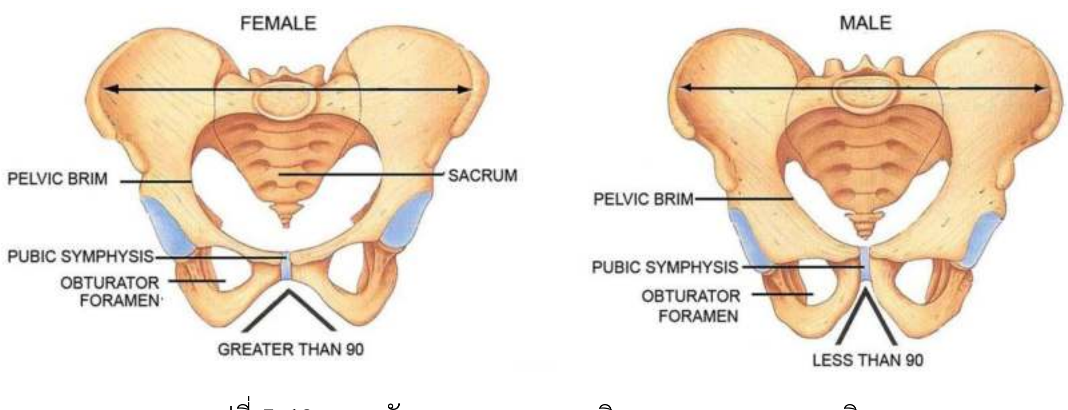
Lesser pelvis ล้อมรอบช่องเชิงกรานไว้ และเป็นที่อยู่ของอวัยวะในอุ้งเชิงกราน ทางเปิดของ lesser pelvis ออกสู่ภายนอก เรียกว่า pelvic outlet

**ความแตกต่างของกระดูกเชิงกรานเพศชายและหญิง** ดังนี้

1. Pelvic inlet ในเพศหญิงรูปร่างกลม และมี greater pelvis กลมและกว้าง ส่วนของเพศชาย Pelvic inlet เป็นรูปหัวใจ และมี greater pelvis แคบ

2. Subpubic angle ในเพศหญิงกว้างกว่าในเพศชาย

3. กระดูก Sacrum ของเพศหญิงมนกว้างและโค้งไปทางด้านหลัง ส่วนชายแบนและเอียงมาทางด้านหน้า




รูปที่ 5-42 แสดงลักษณะของกระดูกเชิงกรานเพศชายและหญิง

**หน้าที่ของกระดูก** โดยทั่วไปกระดูกมีหน้าที่ ดังนี้

1. **Support** : ค้ำจุนให้ร่างกายคงรูปอยู่ได้
2. **Protection** : ป้องกันอวัยวะภายร่างกาย
3. **Assist in movement** : ช่วยในการเคลื่อนไหว
4. **Mineral storage and release** : สะสมแคลเซียม และฟอสเฟต
5. **Blood cell production (Hematopoiesis)** : สร้างเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว เกล็ดเลือด
6. **Storage energy** : สะสมไขมัน ที่ไขกระดูกเหลือง

***********************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy* : *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

# แผนการสอน
## วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์
## (Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)

-------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบกล้ามเนื้อ
(Anatomy and Physiology of Muscular system)

**จำนวน** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับคุณสมบัติของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ชนิดของกล้ามเนื้อ จุลกายวิภาคของกล้ามเนื้อ การตั้งชื่อกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อกลุ่มต่างๆ สรีรวิทยากล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อหัวใจ และหน้าที่โดยทั่วไปของกล้ามเนื้อ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกคุณสมบัติของกล้ามเนื้อได้ถูกต้อง
2. บอกชนิดของกล้ามเนื้อได้ถูกต้อง
3. เปรียบเทียบความแตกต่างของกล้ามเนื้อแต่ละชนิดได้อย่างถูกต้อง
4. บอกหลักการวิธีการตั้งชื่อกล้ามเนื้อได้อย่างถูกต้อง
5. บอกชื่อกล้ามเนื้อและหน้าที่กล้ามเนื้อสำคัญ ได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายโครงสร้างเซลล์กล้ามเนื้อลายที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายโครงสร้างเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายโครงสร้างเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 6

**************************************

# ระบบกล้ามเนื้อ
# (Anatomy and Physiology of Muscular system)

**ตอนที่ 1 กายวิภาคศาสตร์ระบบกล้ามเนื้อ**

1.1 คุณสมบัติของกล้ามเนื้อ
1.2 ชนิดของกล้ามเนื้อ
1.3 การตั้งชื่อกล้ามเนื้อ
1.4 กล้ามเนื้อกลุ่มต่างๆ ตามตำแหน่งของร่างกาย
  1.4.1 กล้ามเนื้อแสดงความรู้สึกใบหน้า
  1.4.2 กล้ามเนื้อของหนังศีรษะ
  1.4.3 กล้ามเนื้อรอบเบ้าตา
  1.4.4 กล้ามเนื้อรอบจมูก
  1.4.5 กล้ามเนื้อรอบปาก
  1.4.6 กล้ามเนื้อเคี้ยวอาหาร
  1.4.7 กล้ามเนื้อคอ
  1.4.8 กล้ามเนื้อเคลื่อนไหวลูกตา
  1.4.9 กล้ามเนื้อเคลื่อนไหวศีรษะและคอ
  1.4.10 กล้ามเนื้อหลัง
  1.4.11 กล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจ
  1.4.12 กล้ามเนื้อหน้าท้อง
  1.4.13 กล้ามเนื้อต้นแขน
  1.4.14 กล้ามเนื้อช่วงไหล่
  1.4.15 กล้ามเนื้อปลายแขน
  1.4.16 กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอข้อมือ มือ และนิ้วมือ
  1.4.17 กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เหยียดข้อมือ มือ และนิ้วมือ
  1.4.18 กล้ามเนื้อมือ
  1.4.19 กล้ามเนื้อต้นขา
  1.4.20 กล้ามเนื้อปลายขา
  1.4.21 กล้ามเนื้อเท้า
  1.4.22 กล้ามเนื้อของพื้นช่องเชิงกราน
  1.4.23 กล้ามเนื้อก้น

**ตอนที่ 2 สรีรวิทยาการหดตัวของกล้ามเนื้อ**

2.1 กล้ามเนื้อลาย

2.1.1 โครงสร้างของกล้ามเนื้อลาย

2.1.2 องค์ประกอบทางชีวเคมีของฟิลาเมนต์

2.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

2.1.4 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย

2.1.5 คุณสมบัติทางกลศาสตร์

2.1.6 พลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

2.1.7 ชนิดของเซลล์กล้ามเนื้อ

2.2 กล้ามเนื้อหัวใจ

2.2.1 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ

2.3 กล้ามเนื้อเรียบ

2.3.1 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ

# บทที่ 6
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบกล้ามเนื้อ
# (Anatomy and Physiology of Muscular system)

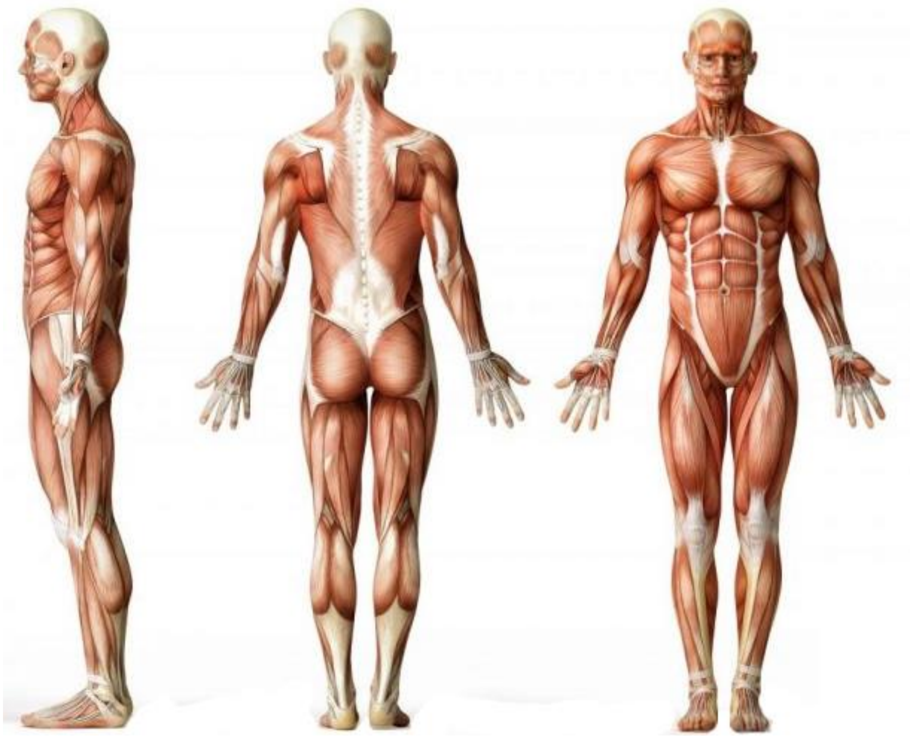
ว่าที่ น.อ.สุเทพ  จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

กล้ามเนื้อเป็นเนื้อเยื่อที่มีมากที่สุดในร่างกาย ประมาณ 40 - 50% ของน้ำหนักตัว มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนไหว เช่น การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อลายทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของกระดูกและข้อต่อต่างๆ กล้ามเนื้อหัวใจทำให้หัวใจมีการบีบตัว  กล้ามเนื้อเรียบที่ประกอบเป็นผนังของอวัยวะภายใน เช่น ลำไส้ จะทำให้ลำไส้มีการบีบตัว เป็นต้น

## ตอนที่ 1
## กายวิภาคศาสตร์ระบบกล้ามเนื้อ

**1.1 คุณสมบัติของกล้ามเนื้อ** โดยทั่วไป ดังนี้

1) Excitability หมายถึง ความสามารถในการรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าจากภายนอก
2) Contractility หมายถึง ความสามารถในการหดตัว
3) Extensibility หมายถึง ความสามารถในการถูกยืด โดยไม่เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อ
4) Elasticity หมายถึง ความสามารถในการหดตัวกลับเข้าที่เดิมหลังถูกยืด



รูปที่ 6-1 ลักษณะของกล้ามเนื้อภายนอกโดยทั่วไป

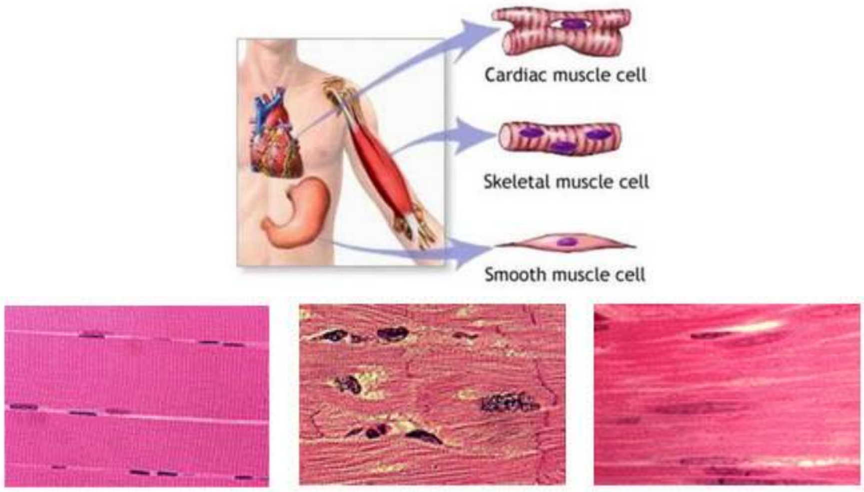
## 1.2 ชนิดของกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อของร่างกายมนุษย์ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะทางจุลกายวิภาค และการควบคุมโดยระบบประสาท ดังนี้

**1. กล้ามเนื้อลาย (Skeletal muscle, striated muscle)** เป็นกล้ามเนื้อที่มีลาย ยึดติดอยู่กับกระดูก 2 ชิ้น ประกอบขึ้นเป็นกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ของร่างกาย การหดตัวของกล้ามเนื้อลายจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย และการหดตัวจะเกิดขึ้นได้เมื่อได้รับการกระตุ้นหรือสัญญาณไฟฟ้าจากมอเตอร์นิวรอน การทำงานอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ

**2. กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle)** เป็นกล้ามเนื้อที่มีลาย ประกอบเป็นผนังของหัวใจ เมื่อกล้ามเนื้อหัวใจหดตัว จะสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย กล้ามเนื้อหัวใจหดตัวได้เองโดยอัตโนมัติ การทำงานถูกควบคุมโดยประสาทอัตโนมัติ และฮอร์โมนต่างๆ ซึ่งอยู่นอกอำนาจจิตใจ

**3. กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle)** เป็นกล้ามเนื้อไม่มีลาย ประกอบเป็นผนังของอวัยวะภายใน เช่นที่ผนังหลอดเลือด ท่อทางเดินอาหาร ท่อของระบบปัสสาวะ ระบบสืบพันธ์ เป็นต้น การทำงานถูกควบคุมโดยประสาทอัตโนมัติ และฮอร์โมนต่างๆ เหมือนหัวใจ




A B C

รูปที่ 6-2 แสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของกล้ามเนื้อลาย (A) กล้ามเนื้อหัวใจ (B) กล้ามเนื้อเรียบ (C)

## 1.3 การตั้งชื่อกล้ามเนื้อ

1. ทิศทางของเส้นใย เช่น rectus (มีทิศทางขนานกับแนวแกนกลางลำตัว) transverse (มีทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนกลางลำตัว obligue (มีทิศทางเฉียงกับแนวแกนกลางลำตัว)

2. ตำแหน่งของกล้ามเนื้อ เช่น intercostal (อยู่ระหว่างกระดูกซี่โครง)

3. ขนาดของกล้ามเนื้อ เช่น maximus (ขนาดใหญ่) minimus (ขนาดเล็ก) longus (ยาว) brevis (สั้น)

4. จำนวนจุดเกาะต้น เช่น biceps (จุดเกาะต้น 2 ตำแหน่ง) triceps (จุดเกาะต้น 3 ตำแหน่ง)

5. รูปร่าง เช่น deltoid (รูปสามเหลี่ยม) trapezius (รูปสี่เหลี่ยมคางหมู) serratus (ฟันเลื่อย)

6. จุดเกาะต้นและจุดเกาะปลาย เช่น sternocleidomastoid มีจุดเกาะต้นที่กระดูก sternum มีจุดเกาะปลายที่ mastoid process

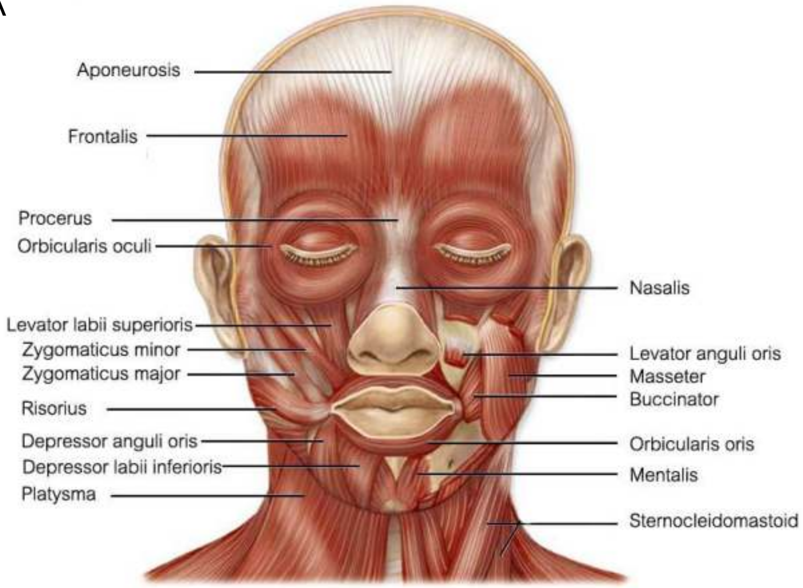
7. ลักษณะการทำงาน เช่น flexor (งอข้อต่อ) extensor (เหยียดข้อต่อ)

## 1.4 กล้ามเนื้อกลุ่มต่างๆ ตามตำแหน่งของร่างกาย

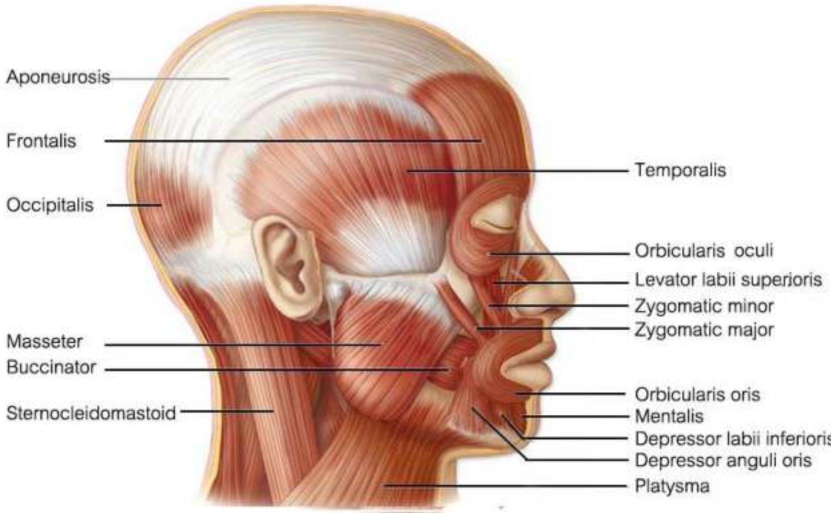
### 1.4.1 กล้ามเนื้อแสดงความรู้สึกใบหน้า

เป็นกล้ามเนื้อที่ทำให้มนุษย์แสดงอารมณ์และความรู้สึกทางใบหน้า ที่สำคัญของกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ ได้แก่

A




B




รูปที่ 6-3 แสดงกล้ามเนื้อแสดงความรู้สึกใบหน้าทางด้านหน้า (A) ทางด้านข้าง (B)

### 1.4.2 กล้ามเนื้อของหนังศีรษะ

=> Frontalis : ยักคิ้ว เลิกคิ้ว ทำหน้าผากย่น กล้ามเนื้อมัดนี้ทำให้เกิดรอยตีนกา บนหน้าผาก

=> Occipitalis : ดึงหนังศีรษะไปทางด้านหลัง

### 1.4.3 กล้ามเนื้อรอบเบ้าตา

=> Orbicularis oculi : กระพริบตา หยีตา ดึงคิ้วลงมาทางด้านล่าง เกิดรอยตีนกาที่หางคิ้ว

=> Corrugator supercillii : ขมวดคิ้ว

### 1.4.4 กล้ามเนื้อรอบจมูก

=> Nasalis : ดึงปีกจมูกให้รูจมูกกว้าง

### 1.4.5 กล้ามเนื้อรอบปาก

=> Levator labii superior : ดึงริมฝีปากขึ้น รูจมูกผายออก (แบบสะอิดสะเอียน)

=> Levator anguli oris : ยกมุมปากขึ้น (ทำให้เห็นฟันในขณะยิ้ม)

=> Zygomaticus major : ยกมุมปากขึ้น (ยิ้ม)

=> Risorius : ทำงานร่วมกับ Zygomaticus major ช่วยยกมุมปากขึ้น (ยิ้ม)

=> Depressor anguli oris : ดึงมุมปากลงและออกไปทางด้านข้าง (เศร้า ร้องไห้)

=> Depressor labii inferioris : ดึงริมฝีปากลงล่าง (บุ้ยริมฝีปาก)

=> Orbicularis oris : ปิดปาก เม้มปาก

=> Mentalis : คางย่น

=> Buccinator : ดูด เป่า จูบ ผิวปาก

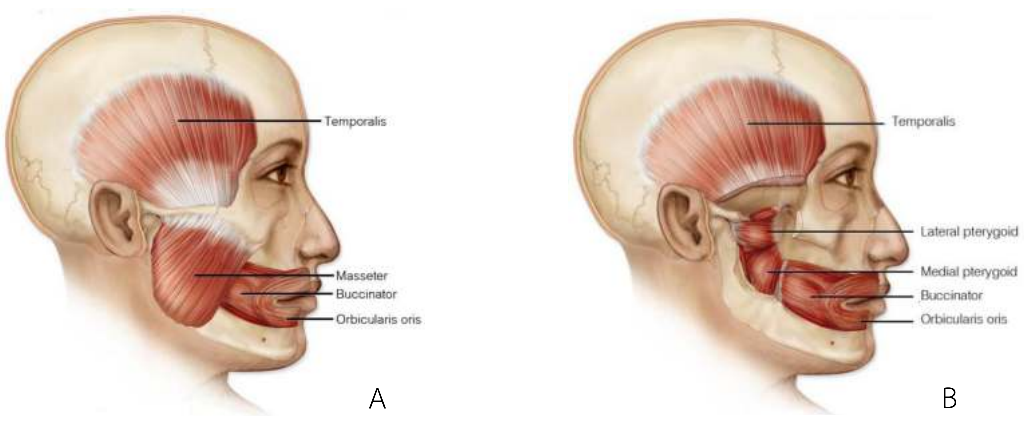
### 1.4.6 กล้ามเนื้อเคี้ยวอาหาร

=> Masseter : ปิดขากรรไกรล่างขณะกัดกินอาหาร

=> Temporalis : ปิดขากรรไกรล่างขณะกัดกินอาหาร

=> Medial pterygoid : บดเคี้ยวอาหาร

=> Lateral pterygoid : บดเคี้ยวอาหาร




รูปที่ 6-4 แสดงกล้ามเนื้อเคี้ยวอาหารทางด้านข้างระดับตื้น (A) ระดับลึก (B)

### 1.4.7 กล้ามเนื้อคอ

=> Platysma : ดึงคางลงล่าง ห้อยปากลง แสดงความไม่พอใจ

### 1.4.8 กล้ามเนื้อเคลื่อนไหวลูกตา

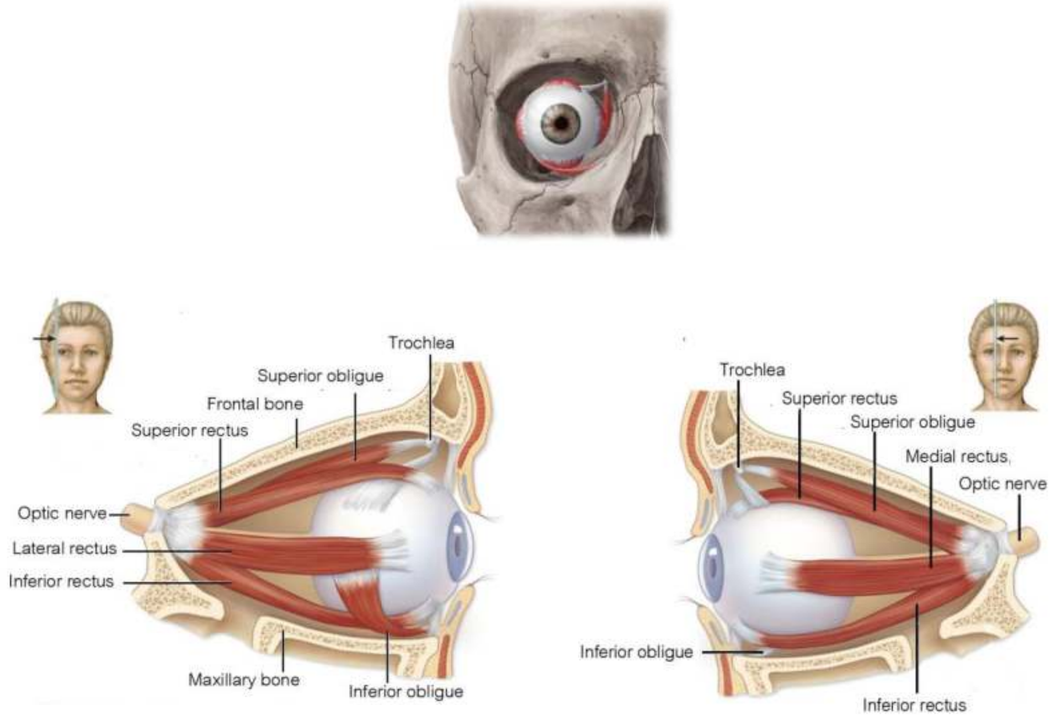
ประกอบด้วยกล้ามเนื้อลาย 6 มัด ทำหน้าที่กรอกตาไปมารอบๆ แกนลูกตา ได้แก่

=> Superior rectus ดึงลูกตาให้มองขึ้นข้างบน => Inferior rectus ดึงลูกตาให้มองลงล่าง

=> Medial rectus ดึงลูกตาให้มองเข้าข้างใน => Lateral rectus ดึงลูกตาให้มองออกด้านนอก

=> Superior obligue หมุนลูกตาให้มองลงล่าง เฉียงไปทางด้านนอก

=> Inferior obligue หมุนลูกตาให้มองขึ้นบน เฉียงไปทางด้านนอก




รูปที่ 6-5 แสดงกล้ามเนื้อเคลื่อนไหวลูกตาข้างขวา

**1.4.9 กล้ามเนื้อเคลื่อนไหวศีรษะและคอ** ทำหน้าที่ก้ม เงย หรือหมุนศีรษะไปทางด้านข้าง ได้แก่

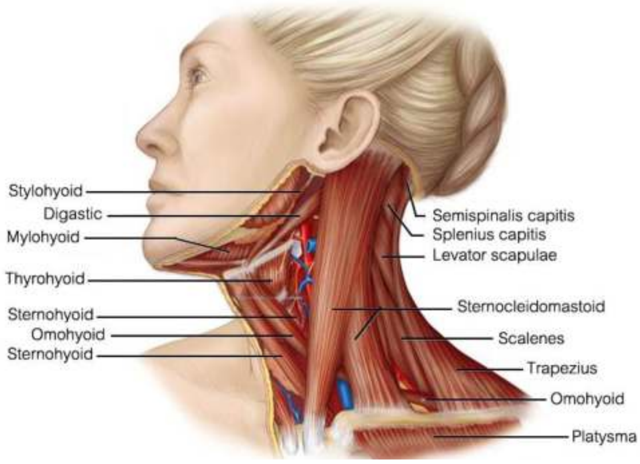
=> Sternocleidomastoid : ทำหน้าที่หลักในการเคลื่อนไหวของศีรษะและคอ ถ้ากล้ามเนื้อหดตัวพร้อมกัน จะทำให้ศีรษะก้มลงมาทางด้านหน้า ถ้าหดตัวด้านใดด้านหนึ่งจะทำให้เกิดการหมุนของศีรษะไปด้านตรงข้ามกับกล้ามเนื้อ

=> Levator scapulae : ทำหน้าที่ในการยกกระดูก scapula

=> Longus colli : เอียงศีรษะไปทางด้านข้าง

=> Splenius capitis : ทำให้เกิดการหมุนและเหยียดศีรษะ

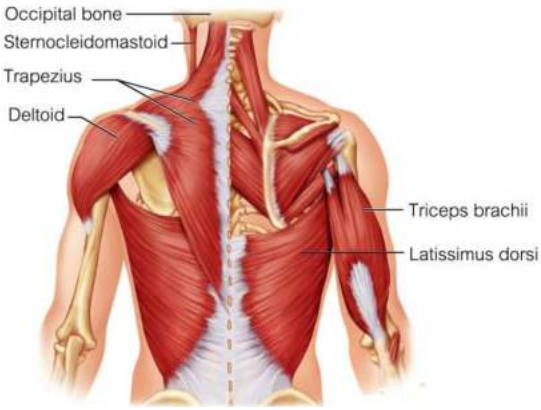
=> Semispinalis capitis : เหยียดศีรษะและคอ




รูปที่ 6-6 แสดงกายวิภาคของกล้ามเนื้อเคลื่อนไหวศีรษะและคอด้านข้าง

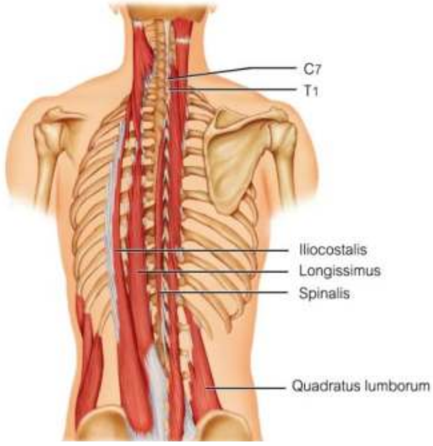
**1.4.10 กล้ามเนื้อหลัง** ประกอบด้วยกล้ามเนื้อชั้นตื้นและกล้ามเนื้อชั้นลึก

**1) กล้ามเนื้อชั้นตื้น** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Deltoid, Trapezius, Latissimus dorsi กล้ามเนื้อชั้นตื้นไม่ค่อยมีความ สำคัญในการเคลื่อนไหวของหลัง แต่ช่วยในการเคลื่อนไหวของไหล่และแขน



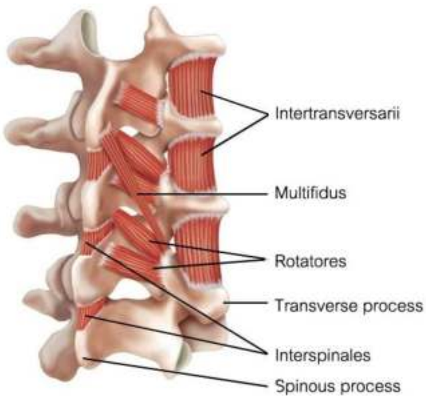

รูปที่ 6-7 แสดงกล้ามเนื้อหลัง

**2) กล้ามเนื้อชั้นลึก** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Iliocostalis lumborum, Longissimus thoracis และ Spinalis thoracis กล้ามเนื้อกลุ่มนี้มีความแข็งแรงมาก ทำให้เกิดการเหยียดตรงของกระดูกสันหลัง และยังช่วยในการงอกระดูกสันหลังไปทางด้านข้างด้วย ด้านล่างของหลัง บริเวณเอวและกระเบนเหน็บ พบกล้ามเนื้อ Iliocostalis และ Longissimus กล้ามเนื้อทั้ง 2 ชนิด รวมกันเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ เรียกว่า sacrospinalis muscle




รูปที่ 6-8 แสดง
กล้ามเนื้อหลังชั้นลึก

ลึกลงไปอีกยังมีกล้ามเนื้อที่ยึดระหว่างปุ่มกระดูกสันหลัง (spine) ของกระดูกสันหลัง เพื่อให้มีความมั่นคงของกระดูกสันหลัง ช่วยในการเหยียดบ้างเล็กน้อย และทำให้เกิดการหมุนของลำกระดูกสันหลัง ได้แก่ กล้ามเนื้อ Multifidus, Interspinales, Intertransversarii และ Rotators




รูปที่ 6-9 แสดงกล้ามเนื้อที่ยึด
ระหว่างปุ่มกระดูกสันหลัง

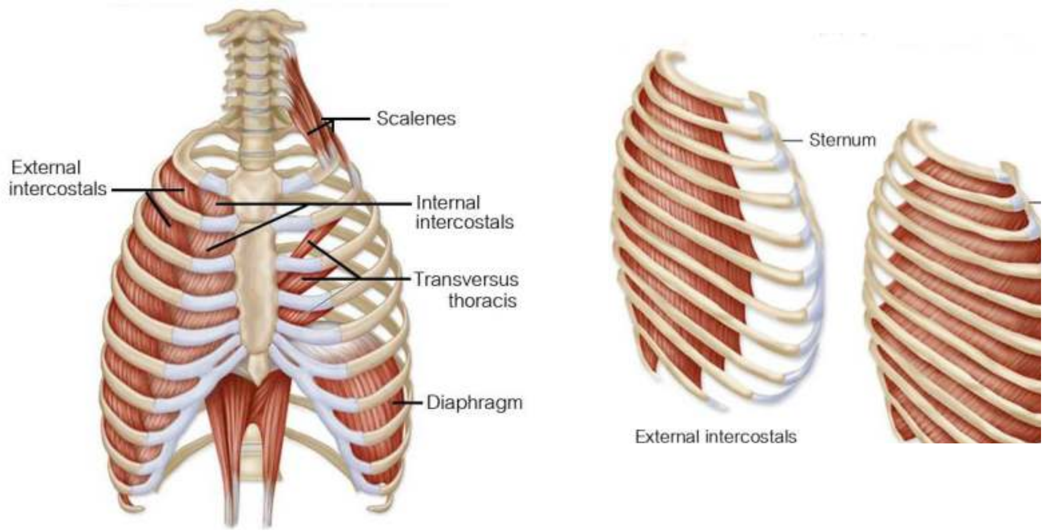
### 1.4.11 กล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจ

เป็นกล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของช่องอก เป็นผลให้เกิดการหายใจเข้าและออก ได้แก่

=> **Diaphragm** เป็นแผ่นกล้ามเนื้อรูปโดม กั้นระหว่างช่องอกและช่องท้อง เมื่อกระบังลมหดตัว โดมของกระบังลมจะแบนลงทำให้ปริมาตรในช่องอกเพิ่มความขึ้น เกิดการหายใจเข้า ถ้ากระบังลมคลายตัว โดมของกระบังลมจะสูงขึ้น ทำให้ปริมาตรในช่องอกลดลง เกิดการหายใจออก

=> **External intercostal muscle** เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ระหว่างซี่โครงทุกช่อง โดยเกาะจากขอบล่างของซี่โครงอันบนลงไปยังขอบบนของซี่โครงอันล่างของช่องซี่โครงนั้นๆ และมีทิศทางเฉียงไปทางด้านหน้า มีหน้าที่เกี่ยวกับการหายใจเข้า โดยการยกกระดูกซี่โครงขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาตรของช่องอก

=> **Internal intercostal muscle** เป็นกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงและอยู่ลึกกว่า External intercostal muscle มีทิศทางการไขว้กัน คือเฉียงไปทางด้านหลัง มีหน้าที่เกี่ยวกับการหายใจออกโดยการดึงกระดูกซี่โครงลงทำให้ช่องอกแคบลง




รูปที่ 6-10 แสดงกล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจ

### 1.4.12 กล้ามเนื้อหน้าท้อง

ยึดระหว่างกระดูกซี่โครงกับเชิงกราน ช่วยป้องกันอวัยวะภายในและเสริมความแข็งแรงของผนังหน้าท้อง

=> Rectus abdominis : กล้ามเนื้อถูกปกคลุมโดยพังผืดทางด้านหน้า เรียกว่า anterior rectus sheath ซึ่งเกิดมาจากแผ่นพังผืดของกล้ามเนื้อหน้าท้องด้านข้าง 3 มัด กล้ามนี้ทำงานร่วมกับกล้ามเนื้ออื่นๆ ในการพยุงอวัยวะภายใน ทำให้เกิดแรงดันในช่องท้อง ทำให้กระดูกเชิงกรานอยู่ในลักษณะคงที่โดยเฉพาะเวลาเดิน

=> External abdominal oblique : ทำให้เกิดแรงดันในช่องท้อง

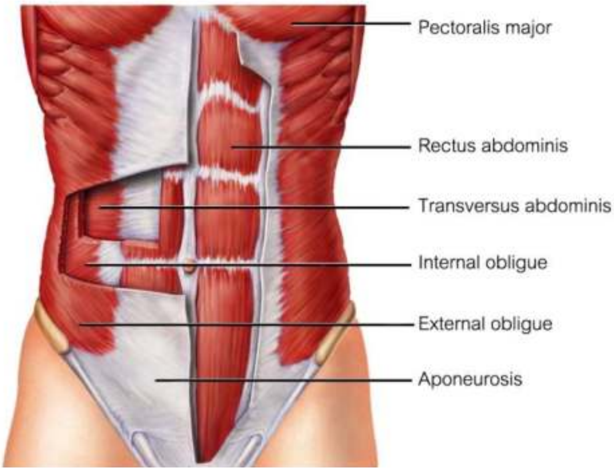
=> Internal abdominal oblique : ทำให้เกิดแรงดันในช่องท้อง

=> Transverse abdominis : มีหน้าที่กดผนังช่องท้อง ใต้กล้ามเนื้อนี้จะมีแผ่นพังผืดบางๆ เรียกว่า transverse fascia และ ใต้ fascia นี้ลงไปจะเป็นเยื่อบุช่องท้อง

=> Quadratus lumborum : ทำหน้าที่งอลำตัวและช่วยในการหายใจ

=> Pyramidalis : มีขนาดเล็กอยู่หน้าต่อกล้ามเนื้อ Rectus abdominis

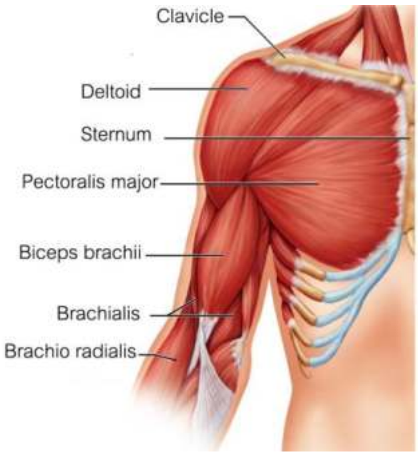
=> Psoas major : ทำหน้าที่งอลำตัวและต้นขา




รูปที่ 6-11 แสดงกล้ามเนื้อหน้าท้อง

**1.4.13 กล้ามเนื้อต้นแขน**

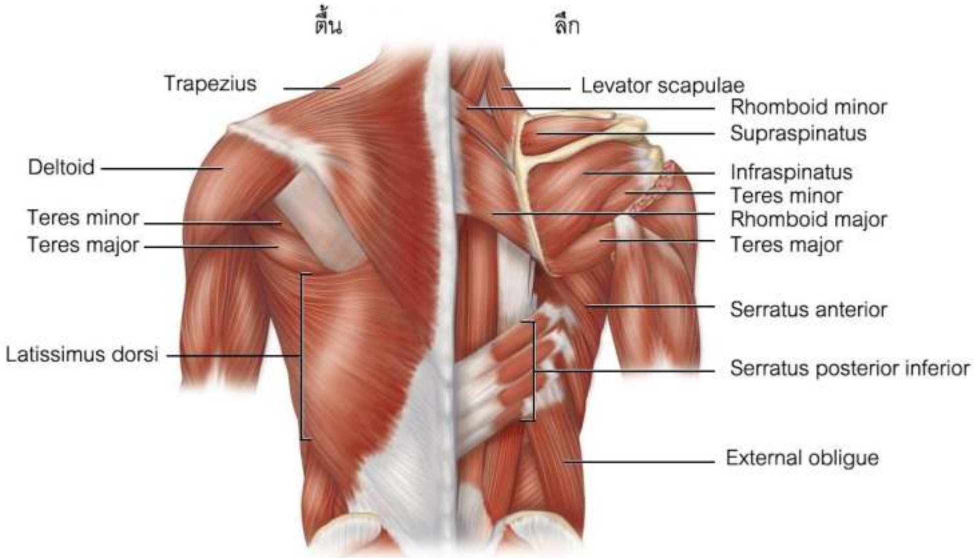
ทำหน้าที่เคลื่อนไหวแขนและปลายแขน ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Coracobrachialis : งอและหุบแขน, Biceps brachii : งอและหงายปลายแขน, Brachialis : งอปลายแขน, Triceps : เหยียดแขน



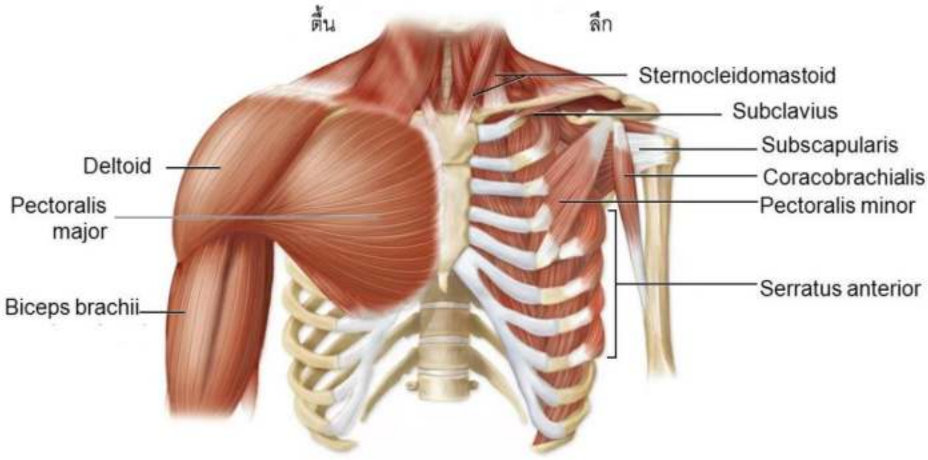

รูปที่ 6-13 แสดงกล้ามเนื้อต้นแขน

**1.4.14 กล้ามเนื้อช่วงไหล่** แบ่งเป็น 2 กลุ่ม

**กลุ่มที่ 1** เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของช่วงไหล่และช่วยตรึงกระดูก scapula ให้อยู่กับที่ ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Serratus anterior, Pectoralis minor, Subclavius, Trapezius, Levator scapulae, Rhomboid major และ Rhomboid minor



**กลุ่มที่ 2** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของต้นแขน ประกอบด้วย Pectoralis major, Latissimus dorsi, Deltoid, Subscapularis, Supraspinatus, Infraspinatus, Teres major และ Teres minor




รูปที่ 6-12 แสดงกล้ามเนื้อช่วงไหล่ข้างหน้า (A) และข้างหลัง (B) ระดับตื้นและระดับลึก

### 1.4.15 กล้ามเนื้อปลายแขน

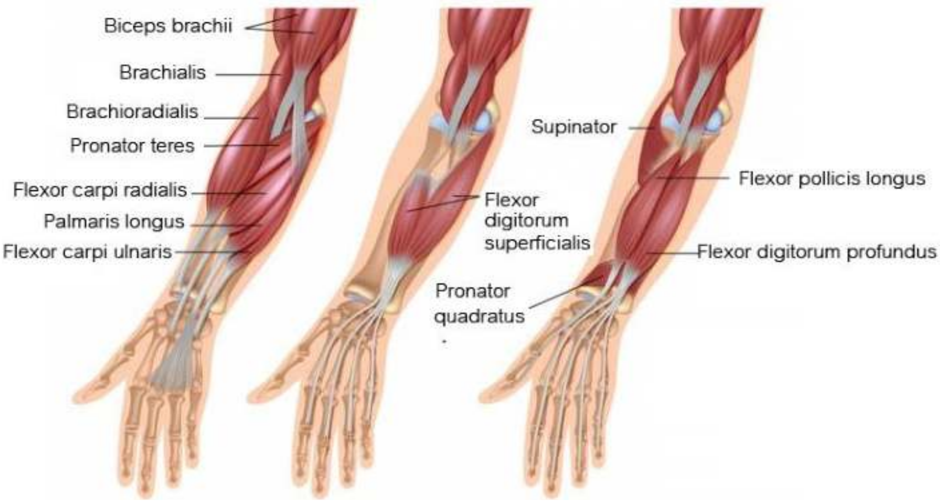
ทำหน้าที่หงายและคว่ำมือ ได้แก่ กล้ามเนื้อ Supinator : หงายมือ, Pronator teres : คว่ำมือ และ Pronator quadratus : คว่ำมือ

### 1.4.16 กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอข้อมือ มือ และนิ้วมือ

ได้แก่ Flexor carpi radialis, Palmaris longus, Flexor carpi ulnaris, Flexor digitorum superficialis, Flexor digitorum profundus และ Flexor pollicis longus

### 1.4.17 กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เหยียดข้อมือ มือ และนิ้วมือ

ได้แก่ Extensor carpi radialis longus, Extensor carpi radialis brevis, Extensor digitorum, Extensor digiti minimi, Extensor carpi ulnaris, Extensor pollicis longus, Extensor pollicis brevis, Abductor pollicis longus, Extensor indicis



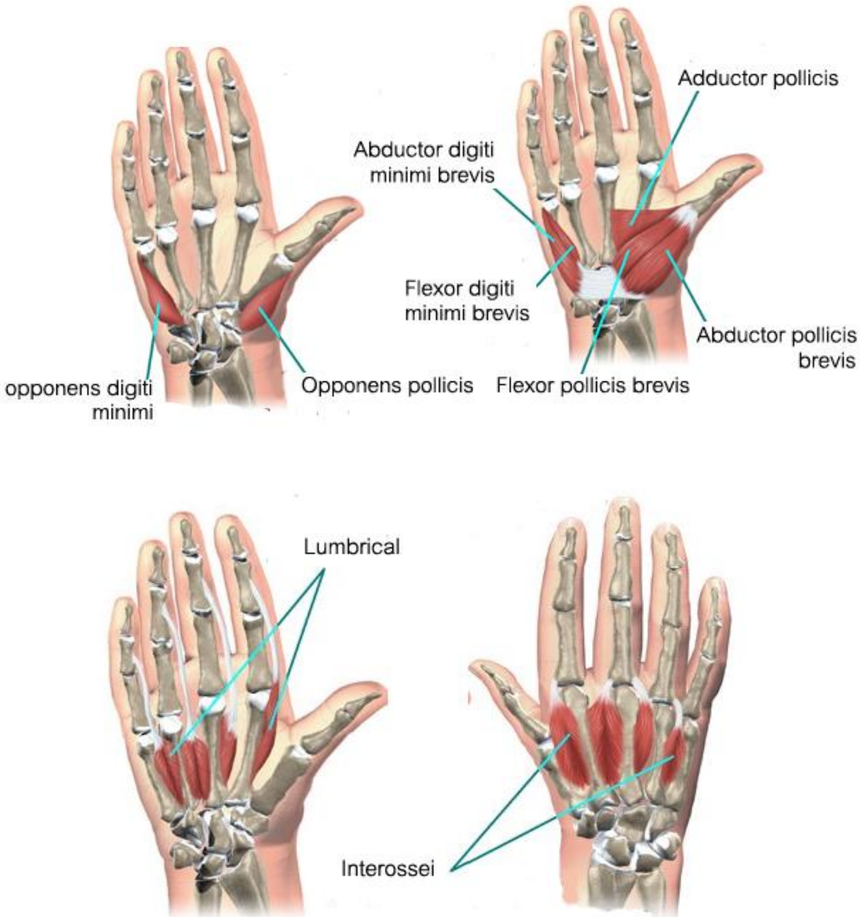

รูปที่ 6-14 แสดงกล้ามเนื้อของปลายแขน

**1.4.18 กล้ามเนื้อมือ** เป็นกล้ามเนื้อมัดเล็กๆ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวที่ละเอียด แบ่งเป็น 3 กลุ่ม

**1. กล้ามเนื้อด้านหัวแม่มือ (Thenar muscles)** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของนิ้วหัวแม่มือ ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Abductor pollicis brevis, Flexor pollicis brevis, Opponens pollicis

**2. กล้ามเนื้อระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วก้อย (Intermediate muscles)** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Lumbrical 1-4, Adductor pollicis, Palmar interossei 1-3, Dorsal interossei 1-4

**3. กล้ามเนื้อด้านนิ้วก้อย (Hypothenar muscle)** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของนิ้วก้อย ได้แก่ กล้ามเนื้อ Palmaris brevis, Abductor digiti minimi, Flexor digiti minimi และ Opponens digiti minimi



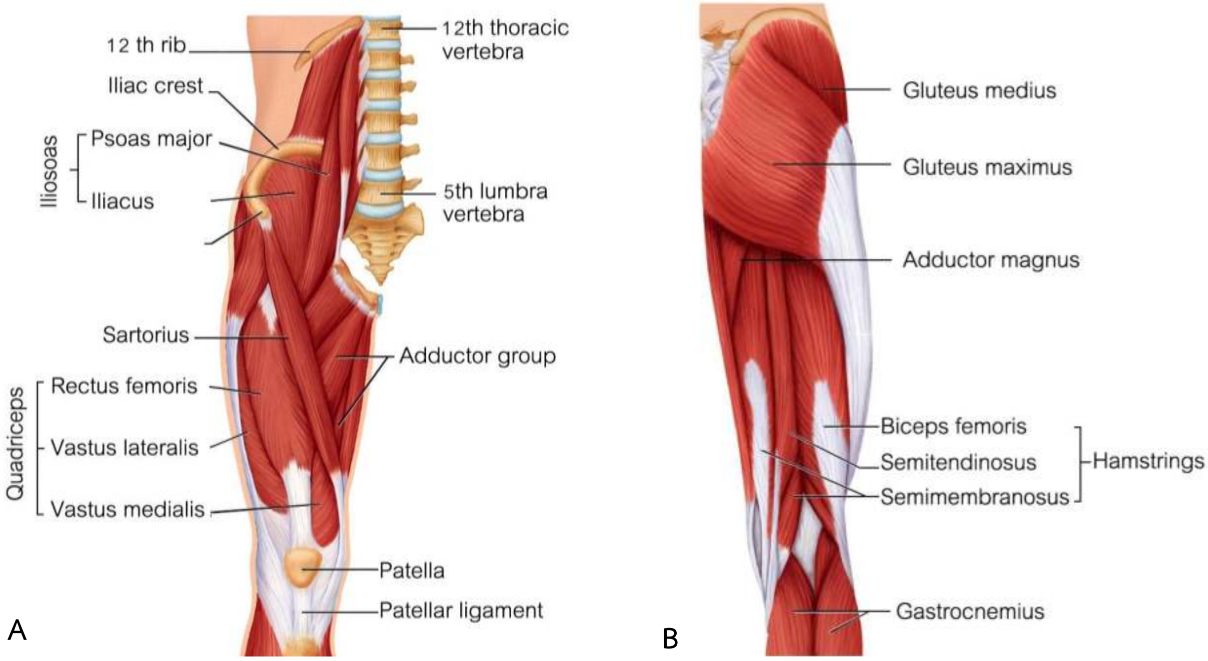

รูปที่ 6-15 แสดงกล้ามเนื้อมือ

**1.4.19 กล้ามเนื้อต้นขา** ทำหน้าที่ช่วยในการเสริมความคงตัวของข้อสะโพกในขณะที่มีการเคลื่อนไหว ช่วยค้ำจุนร่างกาย และพยุงท่าทางในขณะยืน

**กล้ามเนื้อด้านหน้า** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Quadriceps femoris (ประกอบด้วย 4 มัดย่อย ได้แก่ Rectus femoris, Vastus lateralis, Vastus medialis, Vastus intermedius) ทำหน้าที่เหยียดปลายขา และกล้ามเนื้อ Sartorius ทำหน้าที่งอต้นขาและปลายเท้า

**กล้ามเนื้อด้านใน** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Adductor magnus (หุบต้นขา) Adductor longus (หุบและงอต้นขา) Adductor brevis (หุบและงอต้นขา) Pectineus (หุบและงอต้นขา) Glacilis (หุบต้นขา)

**กล้ามเนื้อด้านหลัง** ได้แก่กล้ามเนื้อ Biceps femoris, Semitendinosus และ Semimembranosus กล้ามเนื้อทั้ง 3 มัดนี้ รวมเรียกว่า hamstrings ทำหน้าที่เหยียดต้นขาและงอปลายขา

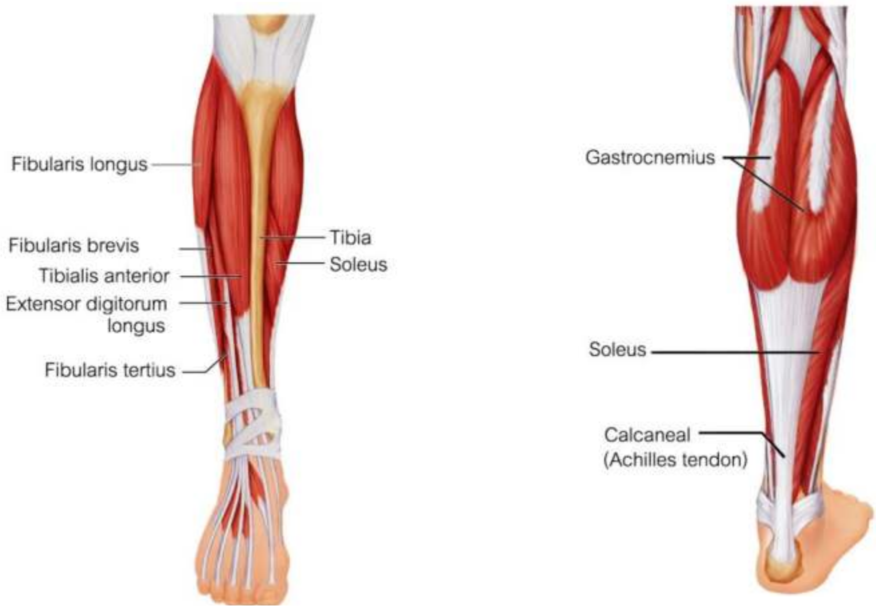



รูปที่ 6-16 แสดงกายวิภาคของกล้ามเนื้อต้นขาทางด้านหน้า (A) และด้านหลัง (B)

**1.4.20 กล้ามเนื้อปลายขา** ประกอบด้วย

=> **กล้ามเนื้อด้านหน้า** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Tibialis anterior, Extensor hallucis longus, Extensor digitorum longus และ Peroneus กล้ามเนื้อกลุ่มนี้ทำหน้าที่กระดกปลายเท้าขึ้น และเหยียดนิ้วเท้า

=> **กล้ามเนื้อด้านนอก** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Peroneus longus, Peroneus brevis ทำหน้าที่กระดกปลายเท้าลง และหันฝ่าเท้าออกทางด้านนอก



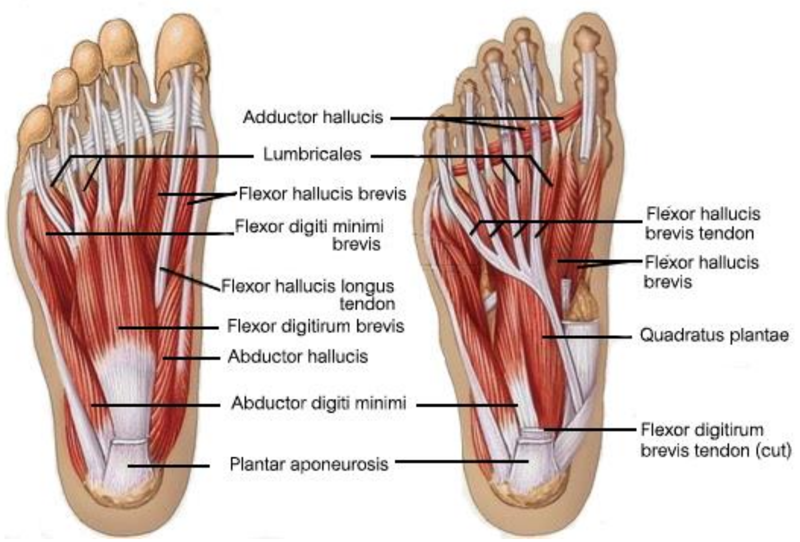

รูปที่ 6-17 แสดงกล้ามเนื้อปลายขาทางด้านหน้า (A) และทางด้านหลัง (B)

=> **กล้ามเนื้อด้านหลัง** มี 2 กลุ่ม กลุ่มตื้น ได้แก่ กล้ามเนื้อ Gastrocnemius, Soleus, Plantaris เอ็นของกล้ามเนื้อเหล่านี้รวมกันเป็นเส้นเอ็นเดียว เรียกว่า Achilles tendon ทำหน้าที่กระดกปลายเท้าลง กลุ่มลึก ได้แก่ กล้ามเนื้อ Popliteus, Flexor hallucis longus, Flexor digitorum longus และ Tibialis posterior กลุ่มนี้ทำหน้าที่กระดกปลายเท้าลง งอนิ้วเท้า และหันฝ่าเท้าเข้าด้านใน

**1.4.21 กล้ามเนื้อเท้า** มีลักษณะการเรียงตัวคล้ายกับการเรียงตัวของกล้ามเนื้อมือ แต่มีหน้าที่แตกต่างกัน การทำงานส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการค้ำจุน และการเคลื่อนไหวขณะเดิน

**กลุ่มที่อยู่ด้านหลังเท้า** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Extensor digitorum brevis และ Extensor hallucis brevis

**กลุ่มที่อยู่ด้านฝ่าเท้า** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Abductor hallucis, Flexor digitorum brevis, Abductor digiti minimi, Quadratus plantae, Lumbrical 1-4, Flexor hallucis brevis, Adductor hallucis, Flexor digiti minimi brevis, Dorsal interossei 1-4 และ Plantar interossei 1-3




รูปที่ 6-18 แสดงกล้ามเนื้อเท้า

**1.4.22 กล้ามเนื้อของพื้นช่องเชิงกราน** รวมกับแผ่นพังผืดที่คลุมทับทางด้านบนและด้านล่าง ประกอบกันเป็นกระบังลมของเชิงกราน (pelvic diaphragm) มีลักษณะเป็นรูปกรวย ทำหน้าที่รองรับและค้ำจุนอวัยวะในอุ้งเชิงกราน มีอวัยวะสำคัญที่ทะลุผ่าน ได้แก่ ทวารหนัก หลอดปัสสาวะ และช่องคลอด กล้ามเนื้อของพื้นช่องเชิงกรานประกอบด้วยกล้ามเนื้อ

=> Levator ani : ค้ำจุนอวัยวะในอุ้งเชิงกราน

=> Coccygeus : ในการขับถ่ายอุจจาระ

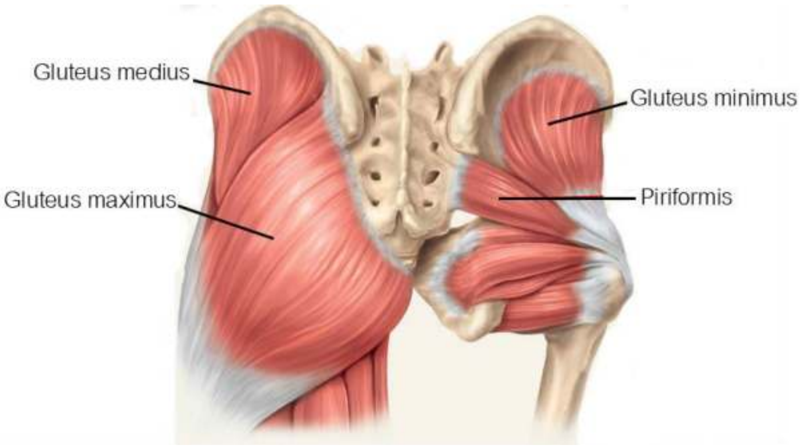
**1.4.23 กล้ามเนื้อก้น** กล้ามเนื้อกลุ่มนี้ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของต้นขา ประกอบด้วย

=> Gluteus maximus : เป็นกล้ามเนื้อขนาดใหญ่สุดในร่างกาย ทำหน้าที่ในการกางขาและเหยียดต้นขา

=> Gluteus medius และ Gluteus minimus : ทำหน้าที่กางขา และหมุนต้นขาออกด้านใน

=> Piriformis : ทำหน้าที่กางขา และหมุนต้นขาออกด้านนอก

=> Obturator internus : ทำหน้าที่กางขา และหมุนต้นขาออกด้านนอก
=> Obturator externus : ทำหน้าที่หมุนต้นขาออกด้านนอก
=> Superior gemellus และ Inferior gemellus : ทำหน้าที่กางขา หมุนต้นขาออกด้านนอก
=> Quadratus femoris : ทำหน้าที่หุบขา และหมุนต้นขาออกด้านนอก
=> Tensor fasciae latae : ทำหน้าที่งอและกางต้นขา




รูปที่ 6-19 แสดงกล้ามเนื้อก้น

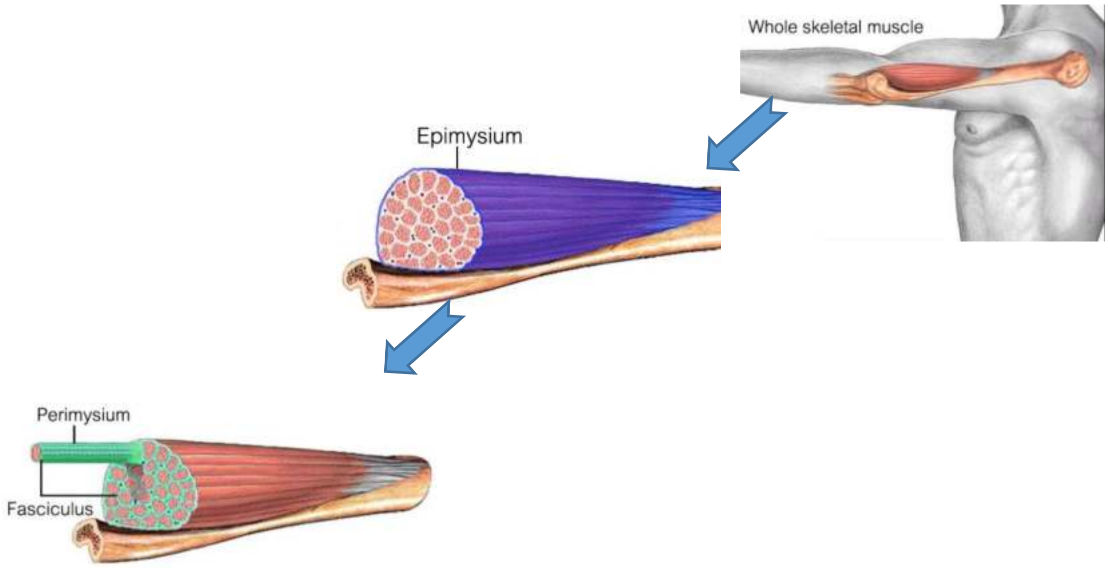
## ตอนที่ 2
## สรีรวิทยาการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Muscle physiology)

### 2.1 กล้ามเนื้อลาย

กล้ามเนื้อลายเป็นกล้ามเนื้อที่มีเซลล์ขนาดใหญ่ มีโครงสร้างลักษณะที่มีความชัดเจน ง่ายต่อการศึกษา ดังนั้น การศึกษาส่วนใหญ่จึงใช้กล้ามเนื้อลายเป็นหลัก และใช้ความรู้ต่างๆ จากการศึกษากล้ามเนื้อลายเป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบกับกล้ามเนื้อหัวใจและกล้ามเนื้อเรียบ

#### 2.1.1 โครงสร้างของกล้ามเนื้อลาย

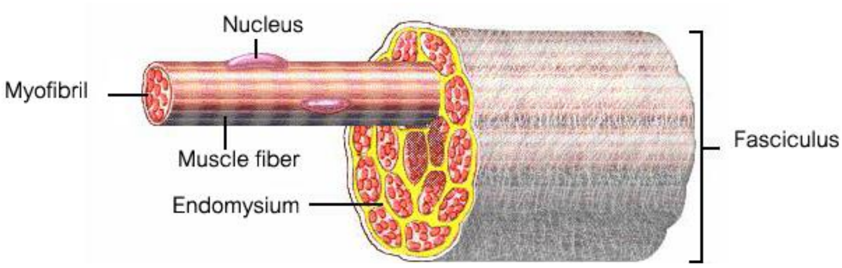
กล้ามเนื้อลายมัดหนึ่งๆ ภายนอกมีเยื่อหุ้ม เรียกว่า **epimysium** ภายในประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ เรียกว่า **fasciculus** จำนวนมาก แต่ละ fasciculus มีเยื่อหุ้ม เรียกว่า **perimysium**




รูปที่ 6-20 แสดงภาพตัดขวางของมัดกล้ามเนื้อ (whole skeletal muscle)

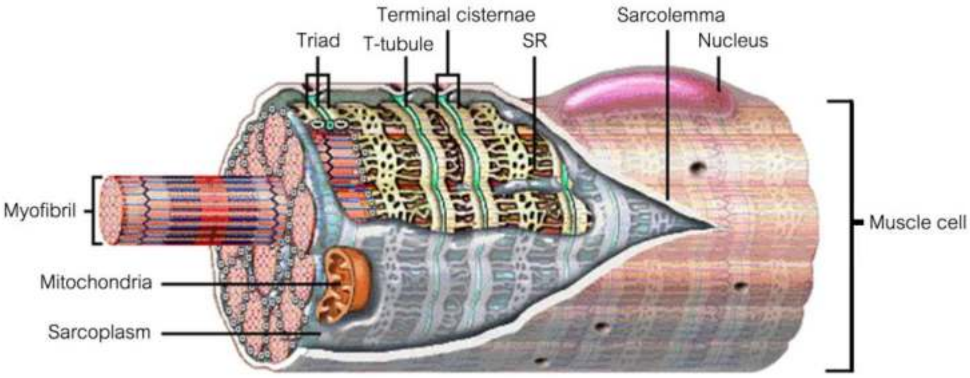
ในแต่ละ fasciculus ประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อ หรือเส้นใยกล้ามเนื้อ เรียกว่า **muscle cell, muscle fiber** เป็นจำนวนมาก เรียงตัวขนานกันและอยู่รวมกันเป็นมัด ด้านปลายทั้ง 2 ข้างจะยึดติดกับเอ็นซึ่งยึดติดกับกระดูกอีกทีหนึ่ง เส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละเส้นประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ เรียกว่า เส้นใยกล้ามเนื้อเล็ก หรือ **myofibril**

ในแต่ละ myofibril ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อฝอย หรือ myofilament ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่สุดของกล้ามเนื้อ เส้นใยกล้ามเนื้อฝอย มี 2 ชนิด คือ **เส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแบบหนา (thick filament)** และ**เส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแบบบาง (thin filament)**




รูปที่ 6-21 แสดงโครงสร้างภายในของเส้นใยกล้ามเนื้อ (fasciculus)

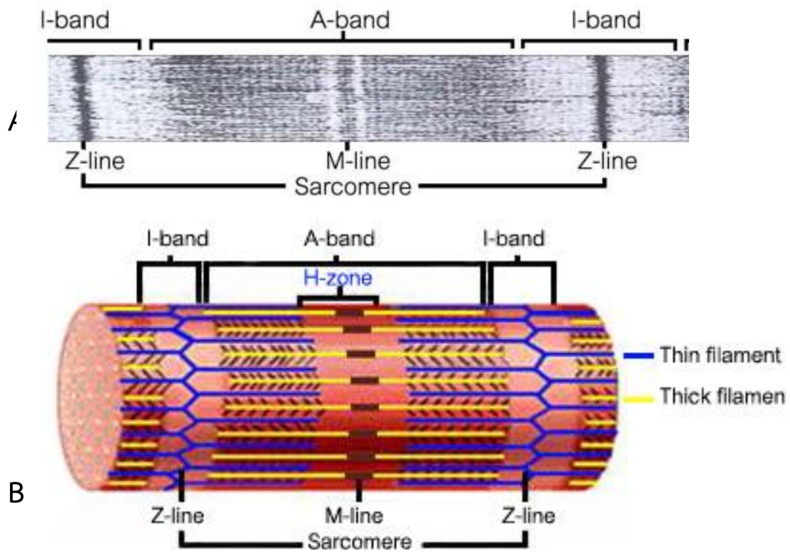
**1.1 เซลล์กล้ามเนื้อลาย** มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก มีผนังหุ้มเซลล์เรียกว่า sarcolemma เซลล์มีนิวเคลียสหลายอันเรียงอยู่บริเวณขอบๆ ของเซลล์ ภายในไซโตพลาสซึมมี thick filament และ thin filament จำนวนมากมาย นอกจากนี้ยังพบ mitochondria และ endoplasmic reticulum หรือเรียกอีกชื่อว่า sarcoplasmic reticulum (SR) แทรกตัวอยู่ทั่วไประหว่างไฟบริล




รูปที่ 6-22 แสดงโครงสร้างภายในของเซลล์กล้ามเนื้อลาย

**1.2 ระบบซาร์โคทิวบูลาร์** เซลล์กล้ามเนื้อถูกล้อมรอบด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นท่อ 2 ท่อ คือ SR เป็นท่อตามยาววิ่งขนานไปกับไฟบริล และแผ่เป็นม่านโอบแต่ละไฟบริลไว้ ปลายของ SR จะโป่งเป็นกระเปาะ เรียกว่า Terminal cisterna ซึ่งภายในบรรจุแคลเซียมไว้มากมาย นอกจากนี้ไฟบริลยังถูกล้อมรอบด้วยท่อตามขวางอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า transverse tubule (T-tubule) ซึ่งเกิดจากผนังเซลล์ยื่นเข้าไปในเซลล์

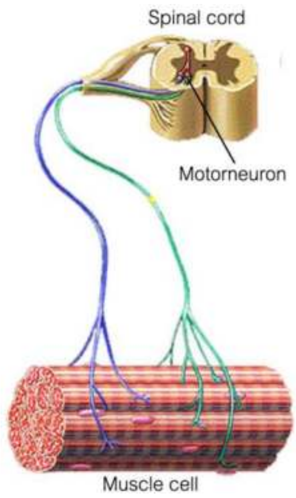
**1.3 ลายของกล้ามเนื้อ** เกิดจากการเรียงตัวของ thick filament และ thin filament อย่างมีระเบียบทำให้เกิดเป็นแถบทึบและจางสลับกันไป บริเวณทึบเรียกว่า anisotropic band (A-band) เกิดจากการเรียงตัวซ้อนกันของ thick และ thin filament อย่างเป็นระเบียบ ส่วนแถบจาง เรียกว่า Isotropic band (I-band) ซึ่งมีแต่ thin filament อย่างเดียว




รูปที่ 6-23 แสดงลายของกล้ามเนื้อลาย (A) และภาพวาดแสดง thick และ thin filament (B)

แถบจางนี้จะถูกแบ่งครึ่งโดยเส้นทึบ เรียกว่า Z-line บริเวณที่อยู่ระหว่าง Z-line สองเส้น เรียกว่า ซาร์โคเมียร์ (sarcomere) ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานของเซลล์ ใน A-band จะมีแถบจางตรงกลาง เรียกว่า H-zone ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มี thin filament ยื่นเข้ามาใน A-band

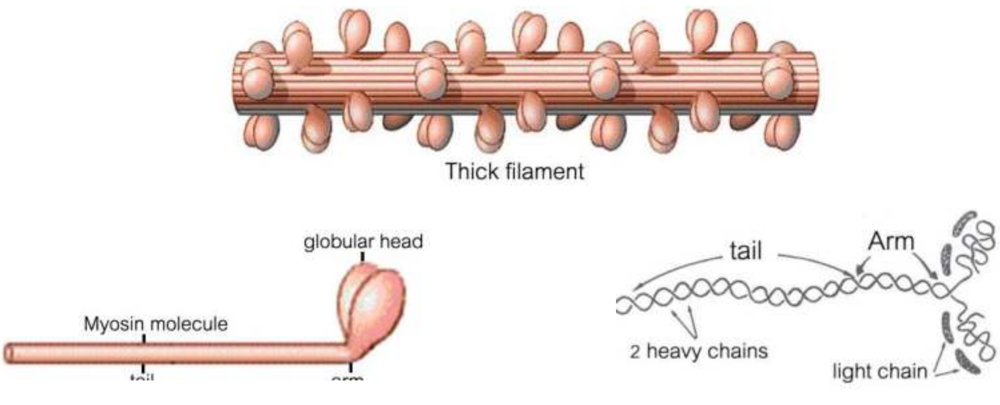
**1.4 มอเตอร์ยูนิต** กล้ามเนื้อแต่ละมัดมีเส้นประสาทมาเลี้ยงมากมาย เส้นประสาทแต่ละเส้นยังแตกแขนงไปเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อเป็นจำนวนมาก เราเรียกมอเตอร์นิวรอน 1 ตัว กับกลุ่มของเซลล์กล้ามเนื้อที่ถูกเลี้ยงโดยมอเตอร์นิวรอน นั้นว่า **มอเตอร์ยูนิต (motor unit)** มอเตอร์ยูนิตอาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่ ยิ่งมอเตอร์ยูนิตที่มีขนาดเล็กมาก กล้ามเนื้อยิ่งมีความละเอียดและแม่นยำสูงในการทำงาน




รูปที่ 6-24 แสดงมอเตอร์ยูนิต

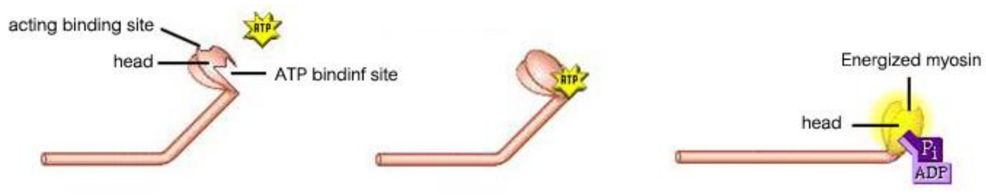
**2.1.2 องค์ประกอบทางชีวเคมีของฟิลาเมนต์**

**1) เส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแบบหนา (thick filament)** ประกอบด้วยโปรตีนไมโอซิน (myosin) ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยโปรตีนจำนวน 6 เส้น คือเส้นใยโปรตีนชนิดหนัก (heavy chain) จำนวน 2 เส้น และเส้นใยโปรตีนชนิดเบา (light chain) จำนวน 4 เส้น เส้นใยโปรตีนชนิดเบาและส่วนปลายด้าน N-terminal จะรวมกันเป็นส่วนหัว (globular head) ของไมโอซิน ส่วนหาง (tail) ของไมโอซินเกิดจากการพันเป็นเกลียวของเส้นใยโปรตีนหนัก 2 เส้น ในโครงสร้างของไมโอซิน มีจุดอ่อนอยู่หลายตำแหน่ง ทำให้โมเลกุลของไมโอซินบิดพับได้




รูปที่ 6-25 แสดงโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแบบหนา

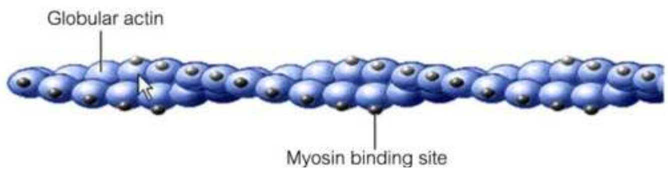
ใน thick filament แต่ละเส้น ประกอบด้วยไมโอซินหลายหน่วย โดยมีส่วนหางเกาะกันเป็นแกนกลางของฟิลาเมนต์ และมีส่วนหัวยื่นออกไปในทิศทางตรงข้าม ที่ส่วนหัวนี้มีตำแหน่งที่สำคัญ 2 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่ให้โปรตีนแอกตินมาเกาะ เรียกว่า actin binding site และตำแหน่งที่มีเอ็นไซม์ ATPase ซึ่งมีหน้าที่สลาย ATP ที่เข้ามาจับกับตัวรับ ATP binding site เพื่อให้พลังงาน




รูปที่ 6-26 แสดงการเข้าจับของ ATP กับตัวรับ ATP binding site

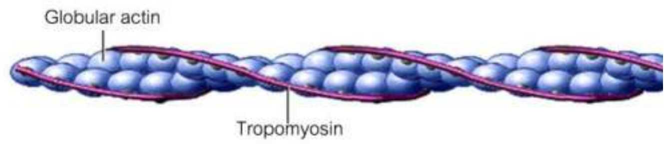
**2) เส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแบบบาง (thin filament)** ประกอบด้วยโปรตีนสำคัญ 3 ชนิด

**2.2.1 แอกติน (Actin)** เป็นโปรตีนที่มีลักษณะกลมเรียก Globular actin (G-actin) ขณะที่ G-actin เมื่ออยู่ในไซโตพลาสซึม จะเรียงตัวต่อกันเป็นเส้นบางๆ เรียก Fibrous actin (F-actin) ใน thin filament จะประกอบด้วย F-actin สองเส้นพันกันเป็นเกลียวคล้ายเชือก และจะมีตำแหน่งให้หัวของไมโอซินมาเกาะ เรียกว่า myosin binding site

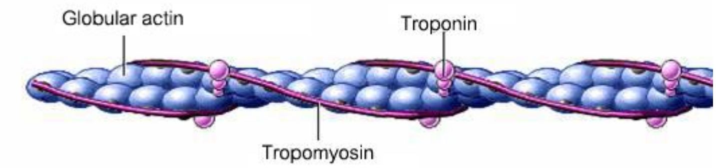



รูปที่ 6-27 แสดงลักษณะของแอกติน

**2.2.2 โทรโพไมโอซิน (Tropomyosin)** เป็นโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นใย 2 เส้นพันกันและฝังในร่องของ F-actin




**2.2.3 โทรโพนิน (Troponin)** เป็นโปรตีนขนาดเล็กมี 3 หน่วยย่อย ได้แก่ Troponin C (มีความสามารถในการจับกับแคลเซียม, Troponin T (ทำหน้าที่ยึดโทรโพนินเข้ากับโทรโพไมโอซิน) และ Troponin I (มีหน้าที่ยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อ)



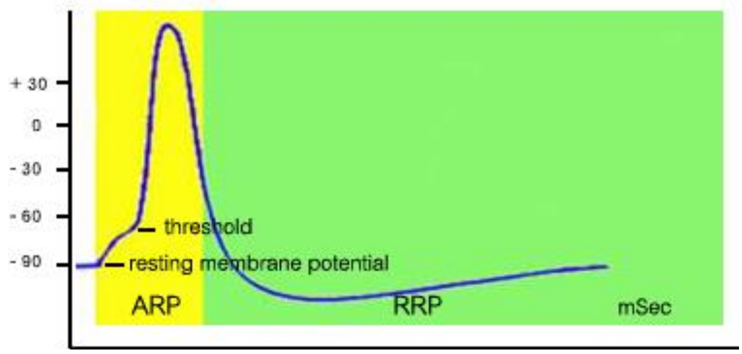

รูปที่ 6-29 แสดงลักษณะของโทรโพนิน

**2.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า**

กล้ามเนื้อลายมีค่าศักดิ์ไฟฟ้าขณะพัก (resting membrane potential) ประมาณ -90 mv และเมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นจนเกิดดีโพลาไรเซชั่นถึงระดับเทรชโฮลด์ (threshold) หรือประมาณ -60 mv จะเกิดแอกชั่นโพเทนเชียลของกล้ามเนื้อลาย โดยปกติใช้เวลาประมาณ 1-5 mSec หลังจากเกิดแอกชั่นโพเทนเชียลแล้ว เซลล์กล้ามเนื้อจะไม่ตอบสนองต่อตัวกระตุ้นตัวใหม่ทันที เซลล์ต้องมีระยะเวลาพักสักครู่จึงจะตอบสนองได้ ระยะพักนี้มี 2 ระยะ

**1. ระยะดื้อแท้ (Absolute refractory period : ARP)** ระยะนี้เซลล์ไม่ตอบสนองต่อตัวกระตุ้นใดเลย ไม่ว่าจะกระตุ้นแรงเท่าใด ระยะนี้เริ่มตั้งแต่เซลล์กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นจนเกิดดีโพลาไรเซชั่น จนถึงประมาณ 1/3 ของระยะเวลาทั้งหมดของรีโพลาไรเซชั่น

**2. ระยะดื้อสัมพัทธ์ (Relative refractory period : RRP)** เป็นระยะที่ผนังเซลล์ของกล้ามเนื้อเริ่มคืนตัว สามารถตอบสนองต่อการกระตุ้นได้บ้าง เป็นช่วงเวลาที่ต่อจากช่วงระยะดื้อแท้จนถึงช่วงหลังรีโพลาไรเซชั่น

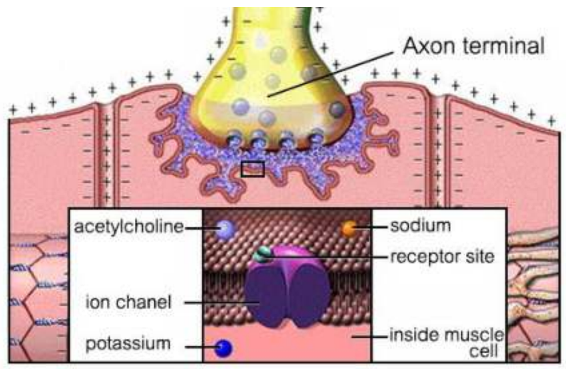



รูปที่ 6-30 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้า

**2.1.4 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย (Excitation contraction coupling)**

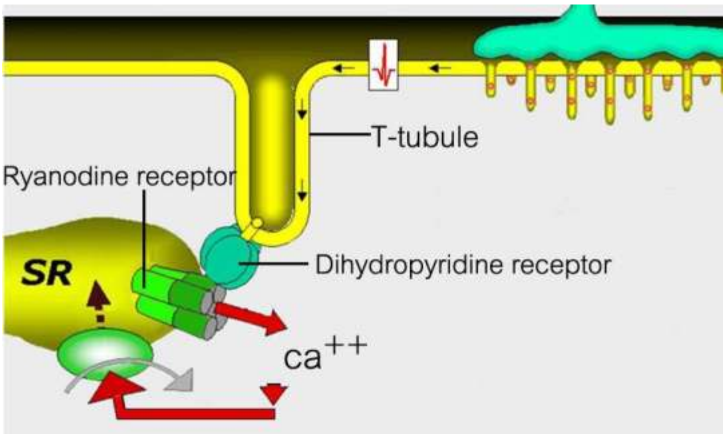
การหดตัวของกล้ามเนื้อลายเป็นกระบวนการที่เกิดอย่างต่อเนื่องตั้งแต่กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นจนถึงกล้ามเนื้อเกิดการตอบสนองด้วยการหดตัว แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

**1) การเร้ากล้ามเนื้อ** การเร้ากล้ามเนื้อลายอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ ทำงานในรูปของสัญญาณไฟฟ้าจากประสาทส่วนกลางผ่านมอเตอร์นิวรอนในไขสันหลัง เมื่อมีสัญญาณประสาทมาถึงรอยต่อของประสาทและกล้ามเนื้อจะทำให้มีการหลั่งสารสื่อประสาทอะเซทิลโคลีน ซึ่งจะแพร่ผ่านช่องว่างซินแนปส์ ไปเข้าจับกับตัวรับที่อยู่บนผิวกล้ามเนื้อ ทำให้คุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์มีการเปลี่ยนแปลง โดยยอมให้โซเดียมผ่านเข้ามาภายในเซลล์ เกิดดีโพลาไรเซชั่น และเมื่อมีดีโพลาไรเซชั่นสูงถึงระดับเทรชโฮลด์ จะทำให้เกิดแอกชั่นโพเทนเชียล ซึ่งจะถูกส่งผ่านไปตามเยื่อหุ้มเซลล์และผนังของ T-tubule




รูปที่ 6-31 แสดงการเร้ากล้ามเนื้อ

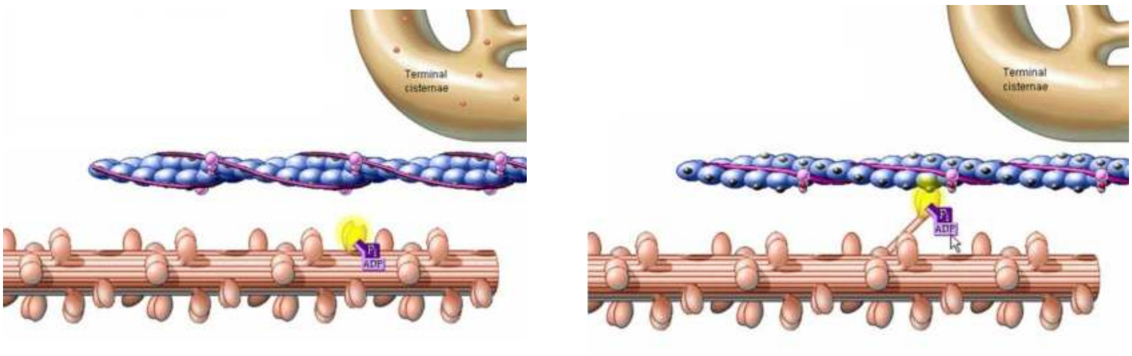
**2) การส่งสัญญาณบริเวณไทรแอด** บริเวณที่ T-tubule และส่วนปลายของ SR มาพบกันมีการพัฒนาไปพิเศษ โดยที่ T-tubule จะมีโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้สัญญาณ เรียกว่า ไดไฮโดรไพริดีนรีเซปเตอร์ (dihydropyridine receptor) เรียงห่างกันเป็นระยะและอยู่ตรงข้ามกับโปรตีนไรยาโนดีนรีเซปเตอร์ (ryanodine receptor) เมื่อแอกชั่นโพเทนเชียลเดินทางเข้าสู่ T-tubule จะทำให้ไดไฮโดรไพริดีนรีเซปเตอร์เกิดการเคลื่อนไหว และส่งผลให้ไรยาโนดีนรีเซปเตอร์ปล่อยแคลเซียมออกมา




รูปที่ 6-32 แสดงการส่งสัญญาณบริเวณไทรแอด

**3) การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฟิลาเมนต์** เมื่อกล้ามเนื้ออยู่ในระยะพัก ทั้ง thick และ thin filament ต่างอยู่กันเป็นอิสระ เนื่องจากมี troponin-I ทำหน้าที่ยับยั้ง โดยที่โทรโพไมโอซินจะปิดบังตำแหน่ง myosin binding site ไว้ ไม่ให้หัวของไมโอซินเข้ามาเกาะ กล้ามเนื้อจึงไม่หดตัว

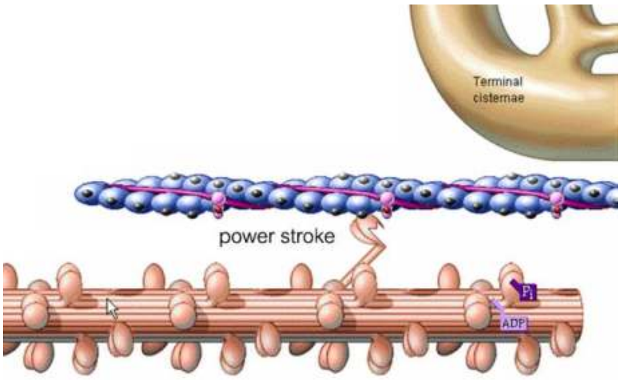
เมื่อกล้ามเนื้อถูกกระตุ้นแคลเซียมจาก SR จะจับกับ troponin-C มีผลให้โมเลกุลของโทรโพไมโอซิน ขยับตัวไปอยู่ในร่องของ F-actin และเปิดตำแหน่งบนแอกตินให้หัวของไมโอซินเข้ามาเกาะ




รูปที่ 6-33 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฟิลาเมนต์

**4) การหดตัวของกล้ามเนื้อ** เมื่อไมโอซินจับกับแอกติน พลังงานที่เก็บสะสมไว้ที่หัวของไมโอซินจะถูกปล่อยออกมาและใช้ไปในการเคลื่อนที่ของไมโอซินเข้าสู่ศูนย์กลางของซาร์โคเมียร์ การเคลื่อนที่ของหัวไมโอซินนี้ เรียกว่า power stroke ขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวพบว่าความกว้างของ A-band ไม่เปลี่ยนแปลง ความยาวของ thick และ thin

filament ไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ความกว้างของซาร์โคเมียร์แคบลง แสดงว่าการหดตัวนี้เกิดจากการเลื่อนตัวของ thick และ thin filament ทฤษฎีการหดตัวนี้ เรียกว่า sliding filament theory




รูปที่ 6-34 การหดตัวของกล้ามเนื้อเมื่อไมโอซินจับกับแอกติน

**5) การคลายตัวของกล้ามเนื้อ** ขณะที่กล้ามเนื้อหดตัว แคลเซียมที่รวมตัวกับ troponin C จะอยู่ได้เพียงชั่วครู่เดียว เนื่องจากจะถูกปั๊มกลับเข้า SR โดยแคลเซียมปั๊ม เมื่อแคลเซียมรอบไฟบริลลดต่ำลง กล้ามเนื้อจะคลายตัว เนื่องจากจะไม่มีการจับกับระหว่างแอกตินและไมโอซิน

### 2.1.5 คุณสมบัติทางกลศาสตร์

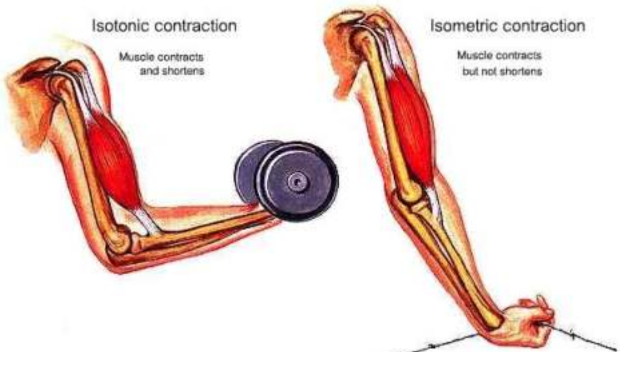
#### 2.1.5.1 ชนิดของการหดตัว

**1) การหดตัวแบบแรงตึงคงที่ (Isotonic contraction)**

=> การหดตัว ความยาวของใยกล้ามเนื้อลดลงแต่แรงตึงในกล้ามเนื้อคงที่ การหดตัวชนิดนี้ทำให้วัตถุเคลื่อนที่

=> การยืดของกล้ามเนื้อ เกิดขึ้นเมื่อแรงที่มากระทำมีมากกว่าแรงที่เกิดจากการหดตัว ทำให้กล้ามเนื้อถูกยืดออก

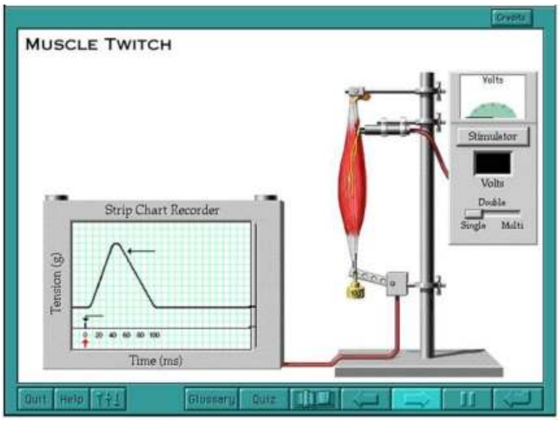
**2) การหดตัวแบบความยาวคงที่ (Isometric contraction)** กล้ามเนื้อหดตัวโดยที่ความยาวของกล้ามเนื้อทั้งชิ้นไม่เปลี่ยนแปลง การหดตัวแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อแรงต้านหรือน้ำหนักวัตถุที่จะยกมีมากกว่าแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ การหดตัวแบบนี้ไม่เกิดการเคลื่อนที่ของวัตถุจึงไม่มีงานเกิดขึ้น




รูปที่ 6-35 การหดตัวของกล้ามเนื้อเมื่อไมโอซินจับกับแอกติน

**2.1.5.2 การหดตัวแบบทวิทช์**

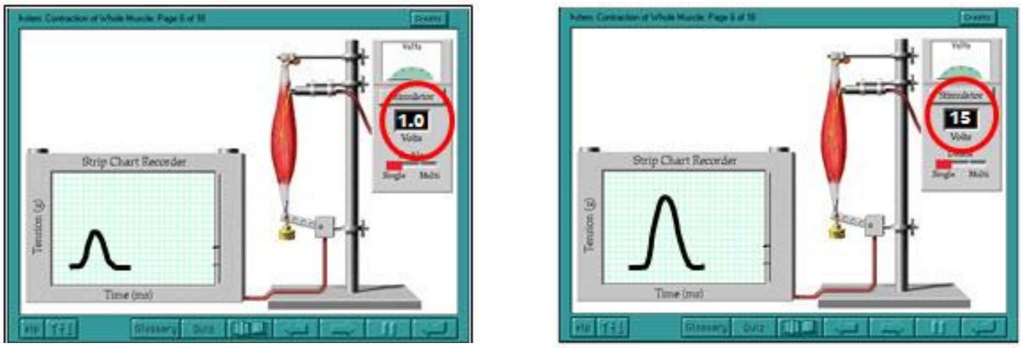
การหดตัวของกล้ามเนื้อแต่ละครั้ง เรียกว่า ทวิทช์ (twitch) การหดตัวนี้ไม่ได้เกิดทันที แต่จะมีระยะแฝง (latent period) ก่อน การหดตัวของกล้ามเนื้อมี 2 ระยะ ระยะเวลาตั้งแต่กล้ามเนื้อเริ่มมีการหดตัวจนกระทั่งให้แรงสูงสุด เรียกว่า ระยะเวลาหดตัว (contraction time) และระยะเวลาตั้งแต่กล้ามเนื้อให้แรงตึงสูงสุดจนกล้ามเนื้อคลายตัวกลับสู่ปกติ เรียกว่า ระยะเวลาคลายตัว (relaxation time)




รูปที่ 6-35 แสดงการหดตัวของกล้ามเนื้อ เมื่อไมโอซินจับกับแอกติน

**2.1.5.3 ขนาดของแรงหดตัว**

**1) จำนวนมอเตอร์ยูนิตที่ทำงาน** กล้ามเนื้อแต่ละมัดมีจำนวนมอเตอร์ยูนิตไม่เท่ากัน จึงเริ่มตอบสนองต่อตัวกระตุ้นต่างกัน ความแรงของตัวกระตุ้นต่ำสุดที่ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้ เรียก threshold stimulus

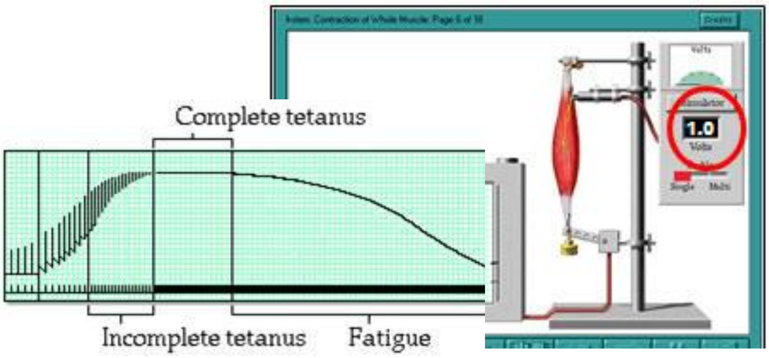



รูปที่ 6-37 แสดงจำนวนมอเตอร์ยูนิตที่ทำงาน

ถ้ากล้ามเนื้อถูกกระตุ้นด้วยความแรงต่ำเกินไป (subthreshold stimulus) กล้ามเนื้อจะไม่ตอบสนอง ถ้าเพิ่มความแรงของตัวกระตุ้น การหดตัวของกล้ามเนื้อก็จะมากขึ้น จนถึงจุดๆ หนึ่งกล้ามเนื้อก็จะไม่หดตัวเพิ่มขึ้นอีก เรียกความแรงของตัวกระตุ้นที่ทำให้เกิดแรงหดตัวได้มากที่สุดว่า maximus stimulus และเมื่อกล้ามเนื้อหดตัวได้แรงสูงสุด แสดงว่ามอเตอร์ยูนิตในมัดกล้ามเนื้อได้ทำงานและตอบสนองต่อตัวกระตุ้นทั้งหมด แล้ว (motor unit summation)

**2) การรวมแรง** ถ้ากล้ามเนื้อถูกกระตุ้นหลายๆ ครั้ง ด้วยความถี่สูง จะพบว่า แรงที่เกิดจากการหดตัวมีค่าสูงกว่าแรงที่เกิดจากการหดตัวที่เกิดจากการกระตุ้นกล้ามเนื้อเพียงครั้งเดียว เนื่องจากไม่ต้องเสียแรงที่ใช้ใน

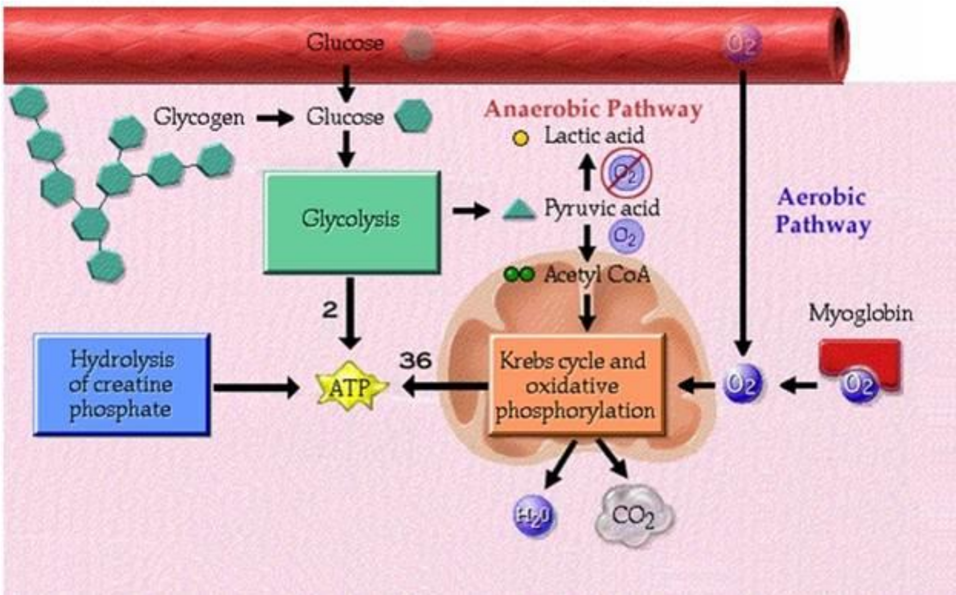
การยืดเอ็นหัวท้ายของมัดกล้ามเนื้ออีก การรวมแรงอาจเป็นแบบสมบูรณ์ (complete tetanus) หรือเป็นแบบไม่สมบูรณ์ (complete tetanus)




รูปที่ 6-38 แสดงการรวมแรง

**2.1.6 พลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ**

แหล่งพลังงานได้มาจากอาหารที่ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกลูโคส กรดไขมัน หรือสะสมไว้ในรูปของไกลโคเจน สารเหล่านี้จะให้พลังงานในรูปของ ATP ในขณะพัก ATP ที่มีอยู่ใช้ในการรักษาความเข้มข้นของ อิออนระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อกล้ามเนื้อหดตัว มีความจำเป็นต้องใช้ ATP มากขึ้น พลังงานที่ใช้ในการหดตัวส่วนใหญ่จะมาจากการสร้าง ATP โดยกระบวนการแบบใช้ออกซิเจน (oxidative phosphorylation) และแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic phosphorylation)




รูปที่ 6-39 แสดงพลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

**2.1.7 ชนิดของเซลล์กล้ามเนื้อ**

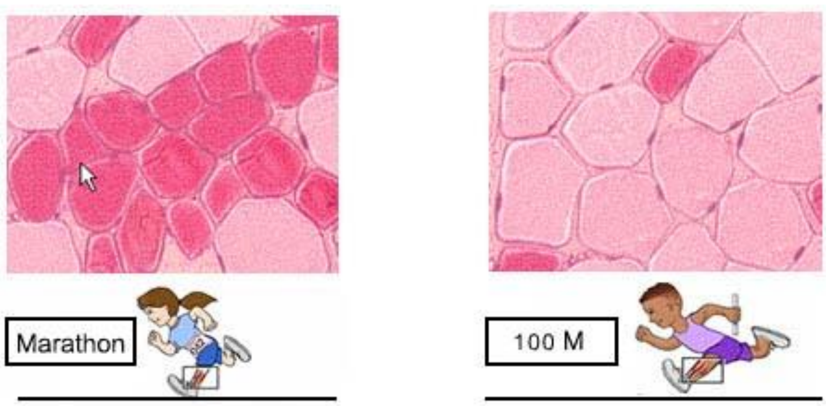
เซลล์กล้ามเนื้อมีการพัฒนาและปรับตัวให้เหมาะสมกับการทำงานและการใช้พลังงานของเซลล์ เซลล์กล้ามเนื้อมนุษย์แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กล้ามเนื้อหดตัวช้า (slow twitch muscle, Type I) และกล้ามเนื้อหด

ตัวเร็ว (fast twitch muscle, Type II) โดยพิจารณาจากความเร็วและระยะเวลาในการหดตัวของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้คุณสมบัติทางเคมียังมีความแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นเราจึงจำแนกเซลล์กล้ามเนื้อในมนุษย์เป็น 3 ชนิด

**ตารางที่ 6-1 แสดงคุณสมบัติของเซลล์กล้ามเนื้อลาย 3 ชนิด**

| | ชนิดที่ I<br>Slow oxidative | ชนิดที่ II A<br>Fast oxidative | ชนิดที่ II B<br>Fast glycolytic |
|---|---|---|---|
| **การสร้าง ATP** | ใช้ออกซิเจน | ใช้ออกซิเจน | ไม่ใช้ออกซิเจน |
| **ไมโตคอนเดรีย** | มาก | มาก | น้อย |
| **ไมโอโกลบิน** | สูง | สูง | น้อย |
| **ความเร็วในการหดตัว** | ช้า | เร็ว | เร็ว |
| **เส้นเลือดฝอย** | มาก | มาก | น้อย |
| **ปริมาณไกลโคเจน** | ต่ำ | ปานกลาง | สูง |
| **ขนาดมอเตอร์ยูนิต** | เล็ก | ปานกลาง | ใหญ่ |

การพัฒนาไปเป็นเซลล์กล้ามเนื้อชนิดใดนั้น เริ่มต้นเมื่อเด็กในครรภ์อายุ 20 สัปดาห์ และเสร็จสิ้นการพัฒนาเมื่ออายุ 1 ปี การพัฒนาของเซลล์กล้ามเนื้อนี้ อยู่ภายใต้อิทธิพลของเส้นประสาทที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อนั้นๆ

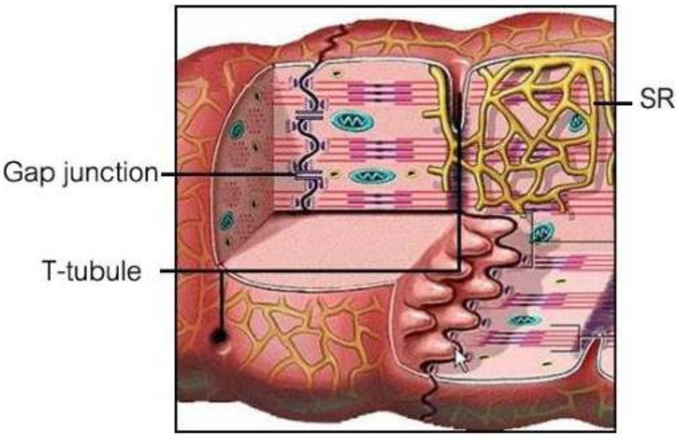



รูปที่ 6-40 แสดงเซลล์กล้ามเนื้อลายชนิดหดตัวช้า (A) ที่พบในนักวิ่งมาราธอน กล้ามเนื้อจะมีสีแดงเนื่องจากมี ไมโอโกลบินมาก เมื่อเปรียบเทียบกับนักวิ่งระยะสั้น (B)

ในเพศชายเซลล์ของกล้ามเนื้อลายจะมีขนาดใหญ่และแข็งแรงกว่าเซลล์กล้ามเนื้อของเพศหญิง เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมน testosterone ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ไมโอซินและแอกติน การใช้ฮอร์โมนนี้เพื่อเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ มีผลยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมอง ในผู้ชายจะทำให้อัณฑะฝ่อ ส่วนในเพศหญิงจะไม่มีการตกไข่ ประจำเดือนมาผิดปกติ ลดขนาดของเต้านมและลักษณะของเพศหญิง

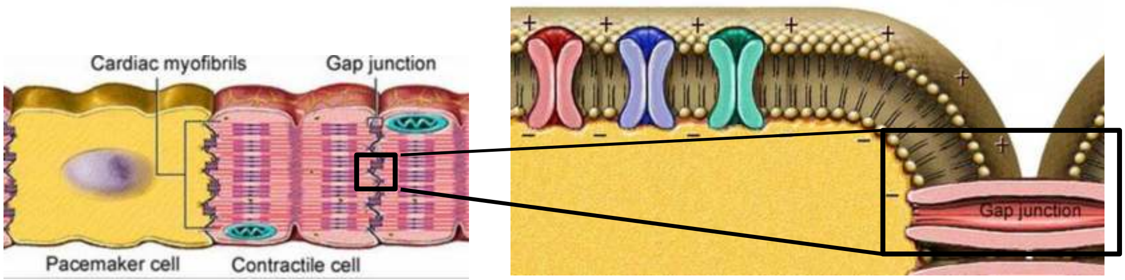
## 2.2 กล้ามเนื้อหัวใจ

กล้ามเนื้อหัวใจประกอบเป็นผนังหัวใจ ภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีองค์ประกอบต่างๆ เหมือนในเซลล์กล้ามเนื้อลาย แต่มีเส้นใยฟิลาเมนต์น้อยกว่าประมาณครึ่งหนึ่งของกล้ามเนื้อลาย นอกจากนี้ SR เป็นเพียงท่อเล็กๆ ไม่มีการพัฒนาเป็นกระเปาะเพื่อเก็บแคลเซียม ดังนั้นจึงไม่พบไทรแอด แต่จะพบไดแอด คือ บริเวณที่ SR สัมผัสกับ T-tubule เท่านั้น




รูปที่ 6-41 แสดงองค์ประกอบภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีแถบและลายคล้ายกับที่พบในกล้ามเนื้อลาย แต่มีขนาดเล็กกว่า มีนิวเคลียส 1 อัน อยู่กลางเซลล์ เซลล์ไม่ได้อยู่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ ตอนปลายของเซลล์จะแตกแขนงและเชื่อมโยงติดต่อกับเซลล์ใกล้เคียง บริเวณที่เซลล์เชื่อมติดต่อกันจะอยู่ตรง Z-line จึงทำให้เกิดแถบทึบ เรียกว่า Intercalated disc บริเวณใกล้กับแถบทึบจะพบการสัมผัสกันของผนังเซลล์เกิดเป็นช่อง เรียกว่า Nexuses หรือ gap junction เชื่อว่าเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าแพร่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งได้รวดเร็วขึ้น




รูปที่ 6-42 แสดงลักษณะของ Nexuses

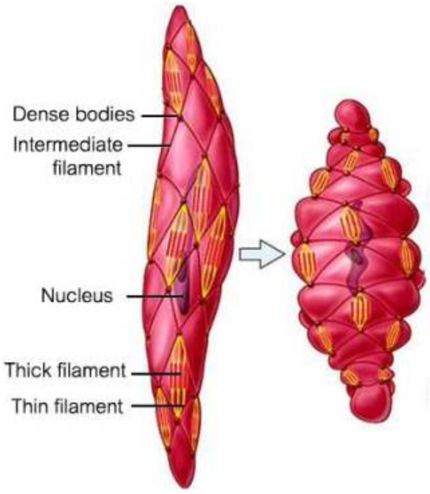
### 2.2.1 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ

โดยทั่วไปกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจคล้ายกล้ามเนื้อลาย ขณะที่แอกชั่นโพเทนเชียลจะมีแคลเซียมจากนอกเซลล์เคลื่อนเข้าสู่เซลล์ในช่วงแรกๆ ของแอกชั่นโพเทนเชียล โดยผ่านช่องทางแคลเซียม ($Ca^{++}$ channel) บนเยื่อหุ้มเซลล์ แคลเซียมที่เข้าสู่เซลล์จะชักนำให้มีการหลั่งแคลเซียมจาก SR เรียกกลไกนี้ว่า การชักนำการหลั่งแคลเซียมโดยแคลเซียม ($Ca^{++}$ induced $Ca^{++}$ release)

## 2.3 กล้ามเนื้อเรียบ

กล้ามเนื้อเรียบเป็นกล้ามเนื้อที่พบได้ทั่วไปที่ผนังอวัยวะภายใน เป็นกล้ามเนื้อที่ไม่มีลาย สามารถหดตัวติดต่อกันได้เป็นเวลานาน โดยใช้พลังงานน้อย

เซลล์กล้ามเนื้อเรียบมีลักษณะเป็นรูปกระสวย มีนิวเคลียส 1 อัน อยู่กลางเซลล์ เซลล์มี SR ที่ไม่พัฒนาและมีขนาดเล็ก ไม่มี T-tubule เซลล์ประกอบด้วยแอกตินต่อหน่วยปริมาตรเท่ากับในกล้ามเนื้อลาย แต่มี ไมโอซินเพียง 1 ใน 5 ของกล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบประกอบด้วยร่างแหของฟิลาเมนต์ขนาดกลางที่ยึดติดอยู่กับเด็นส์บอดี้ (dense bodies) เพื่อเป็นโครงสร้างภายใน




รูปที่ 6-43 แสดงองค์ประกอบภายในเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ

เด็นส์บอดี้มีโปรตีน แอลฟ่าแอคตินิน (alpha actinin) เป็นองค์ประกอบเหมือนที่พบใน Z-line ของกล้ามเนื้อลาย เส้นใยแอกติน เชื่อมโยงอยู่กับเด็นส์บอดี้และเยื่อหุ้มเซลล์ และสานร่างแหอยู่กับเส้นใยไมโอซิน

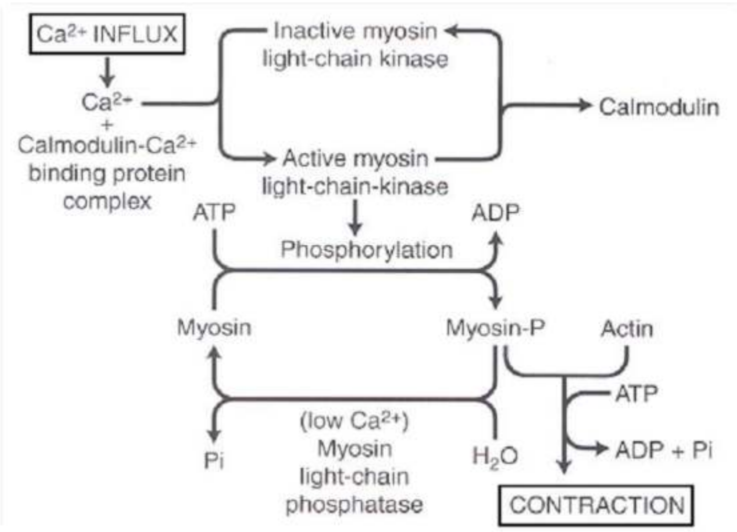
### 2.3.1 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบ

เมื่อมีตัวกระตุ้นที่เหมาะสม บนตัวรับที่ผนังเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ ทำให้เกิดขบวนการดังนี้ แคลเซียมจากภายนอกเซลล์และแคลเซียมจาก SR เข้าจับกับ calmodulin เกิดเป็น $Ca^{2+}$- Calmodulin complex ไปกระตุ้น myosin light chain kinase ให้มีฤทธิ์(active myosin light chain kinase) โดยเติม phosphate (phosphorylation) ให้ myosin ได้เป็น myosin-P ซึ่งมีสามารถดึง actin เข้ามาหา ทำให้เกิดการหดตัว (contraction) ของกล้ามเนื้อ ส่วนในสภาวะที่มีแคลเซียมต่ำ เอ็นไซม์ myosin light chain phosphatase จะแยก myosin-P ออกเป็น myosin และ phosphate

กล้ามเนื้อเรียบของทางเดินอาหาร ในขณะคลายตัวจะยังคงมีแรงตึงตัวอยู่เล็กน้อย เรียกว่า tone หรือ tonus และจะไม่มีการคลายตัวอย่างสมบูรณ์ถ้าเซลล์ยังไม่ตาย

กล้ามเนื้อเรียบมี SR ขนาดเล็กและไม่พัฒนาเท่ากับกล้ามเนื้อลาย เซลล์กล้ามเนื้อเรียบมีขนาดเล็ก ใช้แคลเซียมนอกเซลล์แทนแคลเซียมในเซลล์จาก SR การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบเกิดขึ้นอย่างช้าๆ นานประมาณ 200 มิลลิวินาที

เมื่อกล้ามเนื้อถูกกระตุ้น แคลเซียมจะเคลื่อนเข้าสู่เซลล์โดยผ่านช่องแคลเซียม ซึ่งเปิดปิดเมื่อมีศักย์ ไฟฟ้าของผนังเซลล์ที่เหมาะสม เมื่อแคลเซียมเข้ามาในเซลล์จะรวมกับโปรตีนแคลโมดูลิน (calmodulin) ซึ่งการรวมตัวนี้ทำให้เอ็นไซม์ไมโอซินไลท์เชนไคเนส (myosin light chain kinase) เคลื่อนย้ายฟอสเฟตจาก ATP ไปให้ไมโอซินชนิดเบา ทำให้ไมโอซินอยู่ในสภาวะที่จะสามารถจับกับแอกทินได้ ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว




รูปที่ 6-44 แสดงการเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบ

*********************************

เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบหายใจ
(Anatomy and Physiology of Respiratory system)

**จำนวน** 8 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับ กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบหายใจ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกการแบ่งโครงสร้างระบบหายใจได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายกายวิภาคและสรีรวิทยาของจมูก กล่องเสียงหลอดลม ปอด ถุงลมปอด เยื่อหุ้มปอด กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจ และการไหลเวียนเลือดในปอดได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายกลไกการหายใจเข้าออกปกติได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงความดันปอดและปริมาตรปอดขณะหายใจได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายปริมาตรอากาศจากการหายใจและความจุปอดได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายความสามารถในการขยายปริมาตรปอดได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายแรงตึงผิวที่ถุงลมปอด และสารลดแรงตึงผิวได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายการไหลเวียนเลือดที่ระบบหายใจได้อย่างถูกต้อง
9. อธิบายการกระจายเลือดไปยังส่วนต่างๆ ของปอดได้อย่างถูกต้อง
10. อธิบายเรื่องการระบายอากาศที่ปอดได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายเรื่องสัดส่วนการระบายอากาศและเลือดที่ปอดได้อย่างถูกต้อง
12. ระบุชื่อกฎของแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนแก๊สได้อย่างถูกต้อง
13. บอกวิธีการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนได้อย่างถูกต้อง
14. บอกวิธีการแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างถูกต้อง
15. บอกวิธีการขนส่งแก๊สออกซิเจนได้อย่างถูกต้อง
16. บอกวิธีการขนส่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างถูกต้อง
17. อธิบายวิธีควบคุมการหายใจโดยระบบประสาทได้อย่างถูกต้อง
18. บอกชื่อและอธิบายการทำงานของศูนย์ควบคุมการหายใจได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม

3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 7

*****************************************

# ระบบหายใจ

# (Anatomy and Physiology of Respiratory system)

**ตอนที่ 1 กายวิภาคศาสตร์ระบบหายใจ**

1.1 โพรงจมูก (Nose)

1.2 คอหอย (Pharynx)

1.3 กล่องเสียง (Larynx)

1.4 หลอดลม (Trachea)

1.5 ปอด (Lung)

1.6 ถุงลมปอด (Alveoli)

1.7 เยื่อหุ้มปอด (Pleura)

1.8 กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจ

1.9 การไหลเวียนเลือดในปอด

**ตอนที่ 2 โครงสร้างและหน้าที่ของระบบหายใจ**

2.1 โครงสร้างและหน้าที่ระบบหายใจ

2.2 หน้าที่พิเศษของระบบหายใจ

**ตอนที่ 3 กลไกการหายใจ (Mechanism of Breathing)**

3.1 การหายใจเข้า-ออกปกติ

3.2 การหายใจออกแบบใช้พลังงาน

3.3 การเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาตรปอดขณะหายใจ

3.4 ปริมาตรอากาศจากการหายใจและความจุของปอด

3.5 ความสามารถในการขยายปริมาตรของปอด

3.6 แรงตึงผิวที่ถุงลมปอด และ สารลดแรงตึงผิว

3.7 ความต้านทานต่อการไหลของอากาศ

3.8 งานของการหายใจ

3.9 การทดสอบการทำงานของระบบหายใจ

**ตอนที่ 4 การไหลเวียนเลือดที่ระบบหายใจ และการไหลเวียนอากาศที่ปอด**

4.1 การไหลเวียนเลือดที่ระบบหายใจ

4.2 ความต้านทานของระบบไหลเวียนเลือดที่ปอด

4.3 ความดันในระบบไหลเวียนเลือดที่ปอด

4.4 การกระจายเลือดไปยังส่วนต่างๆ ของปอด

4.5 การระบายอากาศของปอด

4.6 การกระจายอากาศไปยังส่วนต่างๆ ของปอด

4.7 สัดส่วนการระบายอากาศและเลือดที่ปอด

**ตอนที่ 5 การแลกเปลี่ยนและการขนส่งแก๊ส**

5.1 กฎของแก๊ส

5.2 อากาศในบรรยากาศ

5.3 เนื้อเยื่อผนังถุงลมและหลอดเลือด

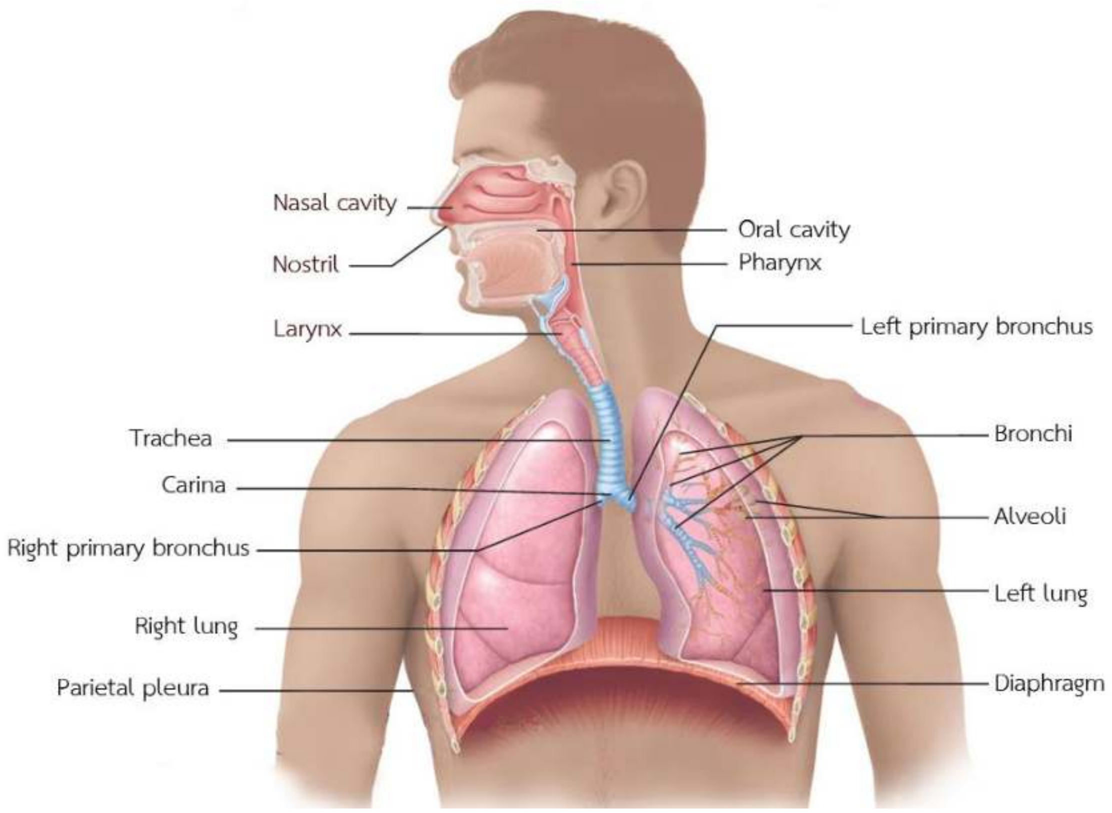
5.4 การแลกเปลี่ยนแก๊ส

5.5 การขนส่งแก๊ส

# บทที่ 7
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบหายใจ
# (Anatomy and Physiology of the Respiratory System)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม.สรีรวิทยา

สิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจน สำหรับนำไปใช้ในการสันดาปอาหาร ให้เกิดเป็นพลังงานในรูปของ ATP และมีความจำเป็นต้องกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดจากการสันดาปออกจากเซลล์และสิ่งแวดล้อมของเซลล์ มนุษย์มีร่างกายที่ใหญ่โตและซับซ้อนประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก และบรรจุอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นของเหลวภายในร่างกาย จำเป็นต้องมีกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการนำออกซิเจนไปให้เซลล์ต่างๆ ทั่วร่างกาย ให้เหมาะสมเพียงพอกับความต้องการในการใช้งาน และกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแต่ละเซลล์ขับออกมา ทั้งนี้เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อมของเซลล์ให้ทรงสภาพเหมาะสมกับการดำรงชีวิตและการทำงานของเซลล์ตลอดเวลา




รูปที่ 7-1 แสดงอวัยวะที่ประกอบขึ้นเป็นระบบหายใจ

## หน้าที่ของระบบหายใจ

1. การขนส่งและแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างอากาศภายนอกกับภายในร่างกาย ในระหว่างการหายใจเข้า อากาศในบรรยากาศซึ่งมีความเข้มข้นของ $O_2$ สูง และมี $CO_2$ ต่ำ จะถูกนำเข้าสู่ถุงลม ในขณะที่เลือดซึ่งมาเลี้ยงถุงลม จะมีความเข้มข้นของ $O_2$ ต่ำ และมี $CO_2$ สูงกว่าอากาศในถุงลม ถุงลมปอดและเส้นเลือดฝอยที่ปอดมีผนังที่บางมาก และมี

พื้นที่จำนวนมาก เอื้ออำนวยต่อการแพร่ของ $O_2$ ออกจากถุงลมปอดเข้าสู่เลือด ในขณะเดียวกัน มีการแพร่ของ $CO_2$ จากเลือดเข้าสู่ถุงลมปอด อากาศในถุงลมปอดที่มี $CO_2$ สูงนี้ จะระบายเข้าสู่บรรยากาศในขณะหายใจออก

2. ช่วยในการควบคุมสมดุลกรด - ด่าง ในร่างกาย การเพิ่มปริมาณ $CO_2$ ในร่างกาย นำไปสู่การเพิ่มปริมาณกรด และในทางกลับกัน การเพิ่มปริมาณกรดก็สามารถนำไปสู่การเพิ่มปริมาณ $CO_2$ ได้ โดยปฏิกิริยา ดังนี้

$$CO_2 + H2_O \rightleftharpoons H2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3\text{-}$$

3. ช่วยในการเปล่งเสียง เสียงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านสายเสียง ทำให้สายเสียงสั่นสะเทือน การร้องเพลง การเปล่งเสียงอื่นๆ เกิดขึ้นได้โดยการควบคุมกล้ามเนื้อช่วยหายใจผ่านระบบประสาทส่วนกลาง เพื่อทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศผ่านสายเสียงและปาก

4. ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากสิ่งแปลกปลอมจากอากาศที่หายใจ โดยวิธีการต่างๆ เช่น กระบวนการ mucociliary escalator การถูกเก็บกินโดยเซลล์ macrophage การถูกกำจัดออกทางระบบน้ำเหลือง การถูกย่อยสลายโดยเอ็นไซม์ต่างๆ หรือการถูกกำจัดโดยระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เป็นต้น

5. ทำหน้าที่เป็นแหล่งสำรองเลือด ในระบบไหลเวียนเลือดของปอด สามารถบรรจุเลือดไว้ได้ถึง 500 มล. ปอดจึงเป็นแหล่งสำรองเลือดในคราวจำเป็น

6. ช่วยทำหน้าที่เป็นแหล่งกรองเลือด สิ่งแปลกปลอมต่างๆ ลิ่มเลือด ฟองอากาศ ชิ้นส่วนของเซลล์ สิ่งแปลกปลอมอาจหลุดลอยเข้ามาในกระแสเลือด และอาจไปอุดตามเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงตามอวัยวะสำคัญ เช่น สมอง หัวใจ ดังนั้น เมื่อเลือดไหลผ่านร่างแหหลอดเลือดฝอยของปอดซึ่งมีจำนวนมาก สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้จะมาอุดที่เส้นเลือดฝอยของปอดแทน และจะถูกกำจัดออกจากหลอดเลือดฝอยปอดภายในระยะเวลา 4-5 วัน โดยการย่อยสลายของเซลล์ macrophage หรือถูกกำจัดออกทางระบบน้ำเหลือง

7. ทำหน้าที่ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของสารบางชนิด เช่น

7.1 การเปลี่ยนสาร angiotensin I ไปเป็น angiotensin II

7.2 สร้างและหลั่งสารที่มีผลต่อปอดเอง เช่น การสร้างสารลดแรงตึงผิว โดยเซลล์ Type II alveolar cells หรือสารอื่นๆ ได้แก่ ฮีสตามีน ซีโรโตนิน โพรสทาแกลนดิน ซึ่งอาจมีผลต่อทั้งปอดเองหรือต่อส่วนอื่นของร่างกาย

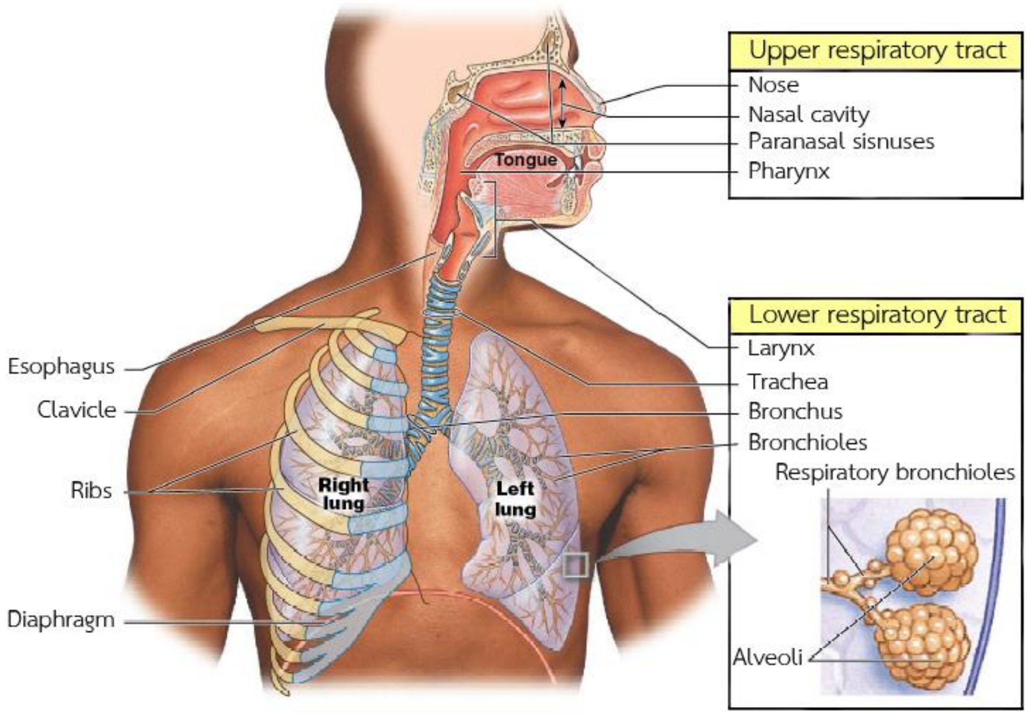
## ตอนที่ 1
## โครงสร้างของระบบหายใจ

โครงสร้างของระบบหายใจ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบ่งตามลักษณะโครงสร้าง และแบ่งตามหน้าที่การทำงาน

**1. แบ่งตามลักษณะโครงสร้าง** แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

**1) ทางเดินหายใจส่วนบน (Upper respiratory tract)** ประกอบด้วยจมูก (Nose) และคอหอย (Pharynx)

**2) ทางเดินหายใจส่วนล่าง (Lower respiratory tract)** ประกอบด้วย กล่องเสียง (Larynx), หลอดลมใหญ่ (Trachea) หลอดลมเล็ก (Bronchus) และปอด (Lung)




รูปที่ 7-2 อวัยวะในทางเดินหายใจส่วนบน และส่วนล่าง

**2. แบ่งตามหน้าที่การทำงาน** แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

**2.1 ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นท่อทางเดินอากาศ (Conduction portion)** เริ่มตั้งแต่โพรงจมูก (nasal cavity) คอหอย (pharynx) กล่องเสียง (larynx) หลอดลมใหญ่ (trachea) หลอดลมเล็ก (bronchus) หลอดลมฝอย (bronchiole) จนถึงหลอดลมฝอยส่วนปลาย (terminal bronchiole) เป็นส่วนที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ ท่อทางเดินอากาศมีหน้าที่สำคัญ 4 ประการ คือ

1) เป็นท่อทางเดินอากาศ ระหว่างบรรยากาศภายนอกกับถุงลมปอด

2) ให้ความชื้นแก่อากาศที่จะผ่านเข้าสู่ปอด โดยในขณะที่อากาศจากบรรยากาศที่มีความชื้นต่ำไหลผ่านท่อทางเดินอากาศ จะมีการระเหยของน้ำจากของเหลวที่สร้างและหลั่งจากต่อมบนผนังของท่อทางเดินอากาศส่วนต้น ทำให้อากาศที่ผ่านไปถึงถุงลมปอดอิ่มไปด้วยไอน้ำ มีความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 47 มม.ปรอท เหมาะสำหรับการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านถุงลมปอด นอกจากนี้ การระเหยของน้ำจากผนังท่อทางเดินอากาศ ยังเป็นการระบายความร้อนออกจากร่างกายด้วย

3) ช่วยอุ่นอากาศที่ผ่านเข้าสู่ปอดให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือใกล้เคียงอุณหภูมิกาย อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สที่บริเวณผนังถุงลมปอดได้สูงขึ้น

4) ทำความสะอาดอากาศที่เข้าสู่ปอดด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การกรองด้วยขนจมูกและการดักจับด้วยชั้นเยื่อเมือก ที่เคลือบผนังทางเดินอากาศ โดยขน (cilia) ของเซลล์ที่บุผนังท่อ จะโบกพัดให้ชั้นเยื่อเมือกพร้อมด้วยสิ่งแปลกปลอมเคลื่อนเข้าสู่ลำคอ และถูกขับทิ้งโดยการกลืน หรือขับออกทางจมูก ไม่ให้สิ่งแปลกปลอมนี้ผ่านเข้าสู่ปอด เรียกกลไกการโบกพัดให้ชั้นเยื่อเมือกของขนนี้ว่า mucociliary escalator สิ่งแปลกปลอมที่เล็กกว่า 2 ไมครอน ถ้าสามารถเล็ดลอดจากการกรองและการดักจับลงไปถึงถุงลมปอดจะมีเซลล์เม็ดเลือดขาว ที่เรียกว่า alveolar macrophage ทำหน้าที่จับกินสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้

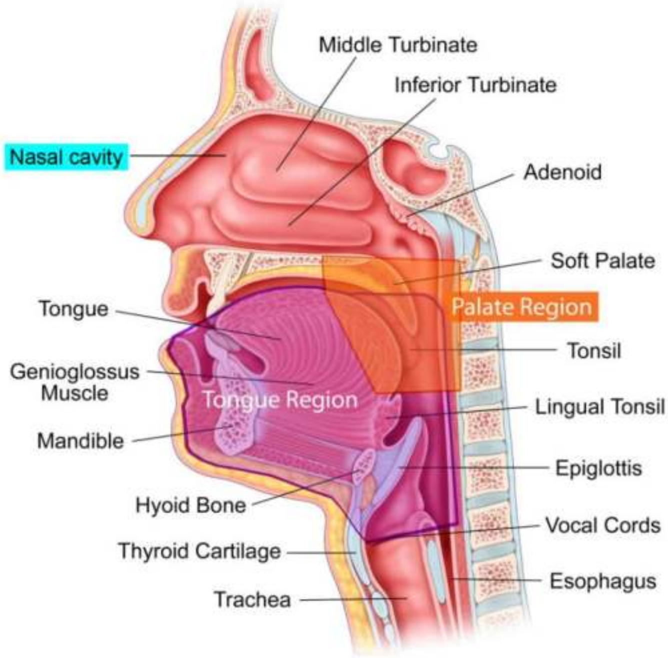
**2) ส่วนที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซ (Respiratory portion)** นับตั้งแต่ respiratory bronchiole, alveolar duct, alveolar sac และ alveoli โครงสร้างเหล่านี้จะมีผนังที่บางพอที่จะให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างอากาศถุงลมปอดกับอากาศในเลือดของหลอดเลือดฝอยที่แตกแขนงเป็นร่างแหห่อหุ้มอยู่ รายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป

## จมูก (Nose)

โดยปกติอากาศจะเข้าสู่ทางเดินหายใจทางรูจมูก (nostrils หรือ external nares) รูจมูกมี 2 รู แยกโดยกระดูกอ่อน เรียกว่า septal cartilage กระดูกอ่อนส่วนนี้เมื่อรวมกับส่วนของกระดูก vomer และ perpendicular plate ของกระดูก ethmoid จะกลายเป็นผนังกั้น เรียกว่า **nasal septum** ซึ่งจะแบ่งช่องจมูก (nasal cavity) ออกเป็น 2 ช่อง เนื้อบุผิวของช่องจมูก มี 2 ชนิด ได้แก่

**1. Respiratory mucosa** เป็นเนื้อเยื่อช่วยสร้างมูกเพื่อให้ผนังมีความชุ่มชื้น และมีขน (cilia) ทำหน้าที่ดักฝุ่นขนาดเล็กๆ

**2. Olfactory mucosa** เป็นเนื้อเยื่ออยู่บริเวณส่วนบนของช่องจมูก ประกอบด้วยปลายประสาทรับกลิ่น ซึ่งติดต่อกับประสาทสมองคู่ที่ 1 ชื่อ olfactory nerve สารที่มีกลิ่นจะถูกจับและละลาย จากนั้นจะไปกระตุ้นปลายประสาทและทำให้เกิดการรับกลิ่น




รูปที่ 7-3 แสดงกายวิภาคของ nasal cavity

**หน้าที่ของจมูก**

=> เป็นท่อทางเดินอากาศส่วนบนสุด

=> กรองฝุ่นละอองที่ผ่านเข้ามากับอากาศ

=> ทำให้อากาศมีความชื้นที่เหมาะสม

=> รับกลิ่น

=> เป็นทางผ่านของสารคัดหลั่งจากโพรงอากาศข้างจมูก และต่อมน้ำตา

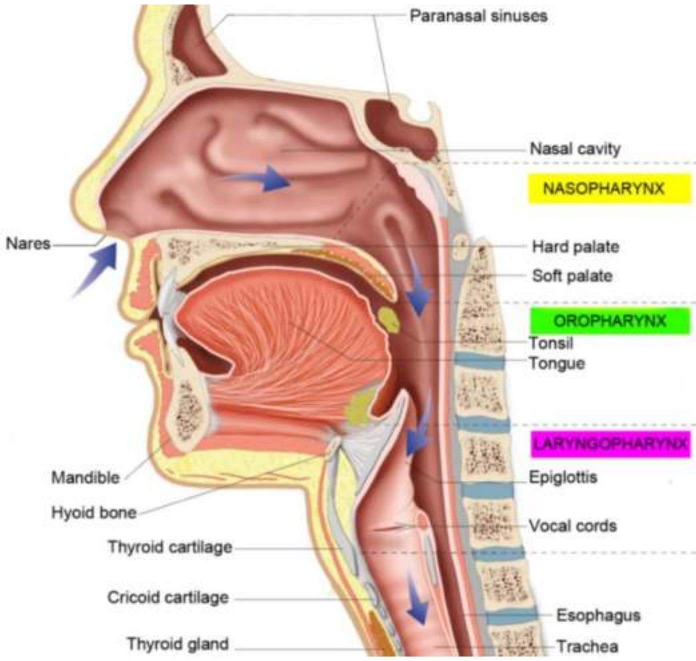
## คอหอย (Pharynx)

คอหอย มีลักษณะเป็นท่อต่อจากโพรงจมูก ยาวประมาณ 13 ซม. หรือ 5 นิ้ว เริ่มจากส่วนท้ายของช่องจมูก ไปจนถึงกระดูกอ่อน cricoid cartilage ซึ่งอยู่ระดับกระดูกสันหลังส่วนคอท่อนที่ 6 (C6) หน้าที่ของคอหอย คือ เป็นทางผ่านของอาหารและอากาศ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

**1. Nasopharynx** เป็นส่วนที่อยู่เหนือเพดานอ่อน ส่วนนี้จะมีรูเปิดของท่อเรียก **Eustachian tube** (Auditory tube) มาเปิด เพื่อปรับความดันภายในหูชั้นกลาง ผนังด้านหลังของ nasopharynx จะมีต่อมน้ำเหลือง เรียกว่า **pharyngeal tonsil (adenoids)**

**2. Oropharynx** เป็นส่วนที่อยู่ด้านหลังของช่องปาก เริ่มจากเพดานอ่อนถึงฝาปิดกล่องเสียง เป็นผนังที่เป็นกล้ามเนื้อ ที่คอหอยส่วนนี้จะพบกลุ่มน้ำเหลืองที่เรียกว่า ต่อมทอนซิล (tonsil) 2 คู่ คือ **palatine tonsil** และ **lingual tonsil**

**3. Laryngopharynx** เป็นส่วนล่างสุดของคอหอย เริ่มตั้งแต่กระดูกอ่อน hyoid bone จนถึงหลอดอาหาร ตรงจุดนี้เป็นที่ซึ่งอากาศจะผ่านเข้ามาทางด้านหน้า คือเข้าสู่กล่องเสียง ส่วนอาหารจะผ่านไปทางด้านหลังเข้าสู่หลอดอาหาร โดยมีแผ่นฝาปิดกล่องเสียง (epiglottis) คอยปิดกล่องเสียงไว้ ไม่ให้อาหารตกลงไปในกล่องเสียง



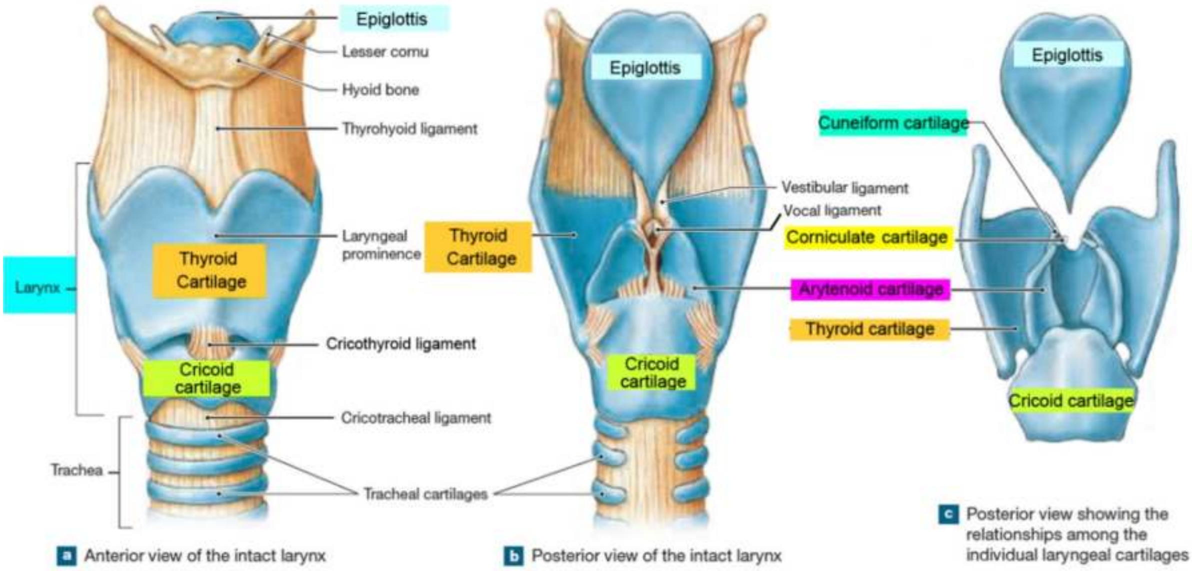

รูปที่ 7-4 แสดงส่วนต่าง ๆ ของ Pharynx

## กล่องเสียง (Larynx)

กล่องเสียง (Larynx) ประกอบด้วยกระดูกอ่อน ที่เห็นชัดเจนคือ คือ thyroid cartilage หรือ Adam’s apple ซึ่งมองเห็นได้ชัดทางด้านหน้าของผู้ชาย เหนือต่อ thyroid cartilage จะเป็นกระดูก hyoid bone ใต้ต่อ thyroid cartilage จะเป็น cricoid cartilage ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวน ถัดลงมาจะเป็น trachea หรือ หลอดลม

นอกจากกล่องเสียงจะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศแล้ว ยังทำหน้าที่เปล่งเสียงด้วย

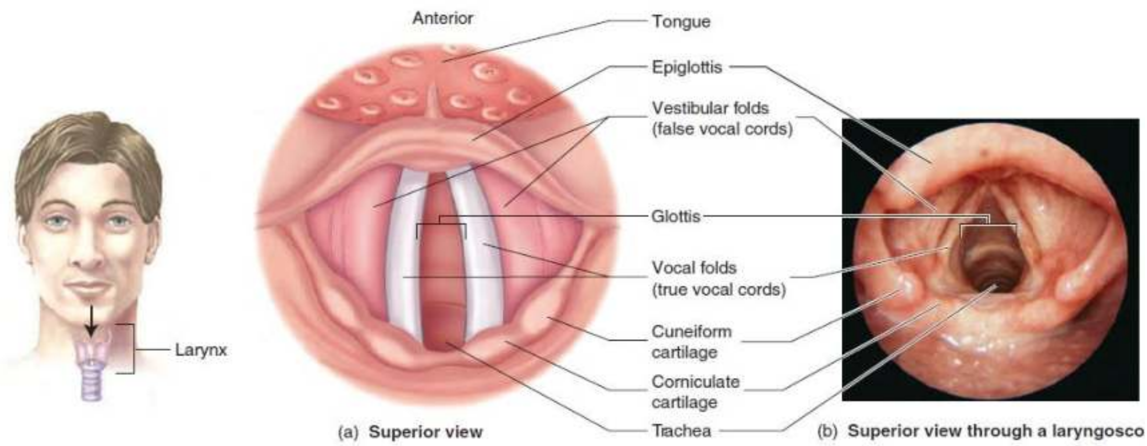
โครงสร้างของกล่องเสียง ประกอบด้วยกระดูกอ่อน 9 ชิ้น เป็นกระดูกอ่อนที่อยู่เป็นคู่ ๆ จำนวน 3 คู่ คือ Arytenoid cartilage, Cuneiform cartilage และ Corniculate cartilage ส่วนกระดูกอ่อนที่อยู่เดี่ยว ๆ อีก 3 ชิ้น คือ Thyroid cartilage, Cricoid cartilage และ Epiglottis




รูปที่ 7-5 แสดงโครงสร้างของกล่องเสียง

**โครงสร้างภายในของกล่องเสียง**

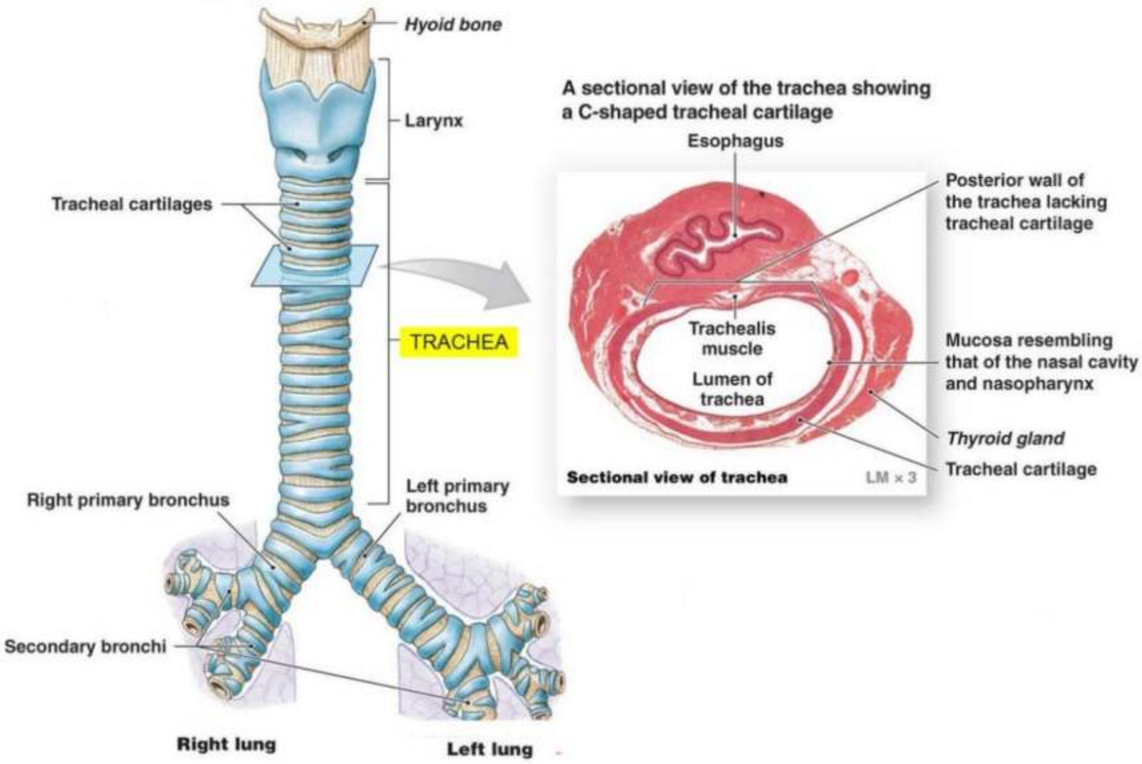
บริเวณส่วนบนจะมีแผ่นเยื่อบาง ๆ หรือสายเสียงขึงขวางอยู่ 2 คู่ คือ False vocal cords (Ventricular folds) และ True vocal cords (Vocal fold) ซึ่งอยู่ต่ำกว่า และมีช่องว่างตรงกลางเรียกว่า Rima glottidis เป็นช่องส่วนแคบที่สุดและอยู่ด้านหลังกระดูกอ่อน เมื่อ vocal fold ถูกดึงให้ตึง โดยการเคลื่อนไหวของกระดูกอ่อนจะทำให้เสียงแหลมสูง แต่ถ้า vocal fold หย่อนจะทำให้เสียงทุ้ม เช่น vocal fold ในผู้หญิงจะสั้น และตึงกว่าของผู้ชาย จึงทำให้ผู้หญิงมักมีเสียงแหลมสูง ในขณะที่ผู้ชายมีเสียงทุ้ม นอกจากนี้ Rima glottidis ยังมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามการหายใจ เช่น มีขนาดเล็กเมื่อหายใจปกติ และมีขนาดใหญ่เมื่อมีการหายใจอย่างแรง




รูปที่ 7-6 แสดงโครงสร้างของฝาปิดกล่องเสียง

## หลอดลม (Trachea)

หลอดลม เป็นท่อกลวงซึ่งเป็นทางผ่านของอากาศ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 ซม. ยาว 10-12 ซม. เริ่มจากส่วนปลายสุดของกล่องเสียง (ตรงบริเวณกระดูกสันหลังส่วนคอท่อนที่ 6, C6) ลงมาถึงจุดแยกเป็น bronchus ซ้ายขวา (ตรงบริเวณกระดูกสันหลังส่วนอกท่อนที่ 5, T5) หลอดลมประกอบไปด้วยกระดูกอ่อนมีรูปร่าง C shape เรียกว่า **tracheal cartilage** ประมาณ 16 - 20 วง เชื่อมต่อกันด้วย fibroelastic tissue และกล้ามเนื้อตามทางยาว กระดูกอ่อนรูปตัว C มีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้หลอดลมแฟบ เยื่อบุหลอดลมเป็นชนิด pseudostratified ciliated columnar epithelial ซึ่งจะเป็นเยื่อเมือกชื้นๆ มีซีเลียพัดขึ้นด้านบน




รูปที่ 7-7 แสดงหลอดลมใหญ่และแขนง

เมื่อหลอดลมทอดลงมาถึงทรวงอกระดับกระดูกสันหลัง ส่วนอกท่อนที่ 5 (T5) จะแยกเป็น bronchus ซ้ายขวา เรียกว่า **Left primary bronchus** และ **Right primary bronchus** ตามลำดับ แล้วมุดแทรกเข้าสู่เนื้อปอดทางขั้วปอด (Hilus) Right primary bronchus มีลักษณะสั้น และมีขนาดใหญ่กว่า มีความลาดเอียง (ชัน) มากกว่า Left primary bronchus ซึ่งเป็นเหตุผลที่จะอธิบายได้ว่า ทำไมเมื่อมีการสำลักสิ่งแปลกปลอมตกลงสู่ปอด มักจะตกลงไปสู่ปอดข้างขวามากกว่าข้างซ้าย โครงสร้างของ bronchus ยังเหมือนกับ Trachea คือ ประกอบด้วยกระดูกอ่อนรูปตัว C

เมื่อ Primary bronchus เข้าสู่ปอดในแต่ละข้างแล้ว จะมีการแตกแขนงเล็กลงเป็นหลอดลมเล็กระดับที่สอง เรียกว่า **Secondary bronchus** (Lobar bronchus) แยกไปตามกลีบปอด (Lobe) ซึ่งข้างปอดขวามี 3 Lobe ก็จะมี Secondary bronchus 3 แขนง ส่วนปอดข้างซ้ายมี 2 Lobe ก็จะมี Secondary bronchus 2 แขนง จากนั้น Secondary bronchus แต่ละแขนงจะมีการแตกแขนงเล็กลงไปอีก เป็นหลอดลมเล็กระดับที่สาม เรียกว่า **Tertiary bronchus (Segmental bronchus)** แยกไปตาม segment ต่างๆ ของปอด จากนั้นจะแยกต่ออีกเป็นท่อเล็กๆ

เรียกว่า **bronchioles** และในที่สุดเป็น **terminal bronchioles** ซึ่งเป็นการแตกแขนงของหลอดลมเล็กระดับที่สิบหก terminal bronchiole แตกแขนงต่อไปและเล็กลงไปอีกเป็น respiratory bronchiole, alveolar duct, alveolar sac และ alveoli ตามลำดับ

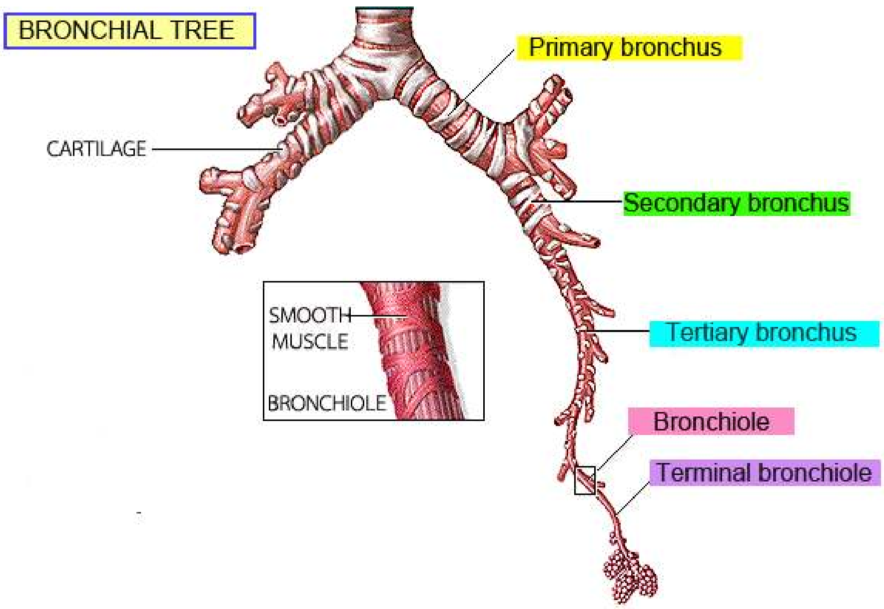
จากลักษณะการแตกแขนงอย่างต่อเนื่องของหลอดลม มีลักษณะคล้ายการแตกแขนงของต้นไม้ คือมีการแตกแขนงย่อยออกไปเป็นกิ่งและก้าน ตามลำดับ เราจึงเรียกว่า Bronchial tree จากการที่ bronchus มีการแตกแขนงอย่างมากมายหลายระดับ ทำให้ลักษณะโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป 3 ประการ คือ

1. กระดูกอ่อนวงแหวนรูปตัว C จะมีขนาดเล็กลง และมีจำนวนลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่ bronchus แตกแขนงไปจนถึงระดับ bronchioles จะไม่พบกระดูกอ่อนวงแหวนรูปตัว C อีก

2. เซลล์เยื่อบุจะมีการเปลี่ยนจาก pseudostratified columnar epithelium ไปเป็น simple cuboidal ใน terminal bronchiole ซึ่งไม่มีขนและเมือกที่ใช้ดักจับฝุ่นละอองและสิ่งแปลกปลอมที่ติดมากับอากาศ ดังนั้น ถ้าหากมีเศษผงหรือสิ่งแปลกปลอมผ่านมาถึงบริเวณนี้ได้จะถูกกำจัดโดยการกินของเซลล์ macrophage

3. ในขณะที่กระดูกอ่อนวงแหวนลดจำนวนลง จะกลับมีกล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) เพิ่มขึ้นแทน กล้ามเนื้อเรียบที่พันรอบอยู่ที่ผนังของหลอดลมนี้เมื่อหดตัว จะบีบรัดทำให้รูของหลอดลมตีบแคบลง ซึ่งการหดตัว และการคลายตัว ของกล้ามเนื้อเรียบนี้ สามารถเกิดจากอิทธิพลของสารเคมี และเส้นประสาท เช่น

- Parasympathetic nerve จะเป็นเหตุให้ bronchioles ตีบ จากการที่กล้ามเนื้อเรียบหดตัว
- Histamine จะเป็นเหตุให้ bronchioles ตีบ จากการที่กล้ามเนื้อเรียบหดตัว
- Epinephrine จะทำให้ bronchioles ขยายตัว เนื่องจากไปมีผลทำให้กล้ามเนื้อเรียบคลายตัว



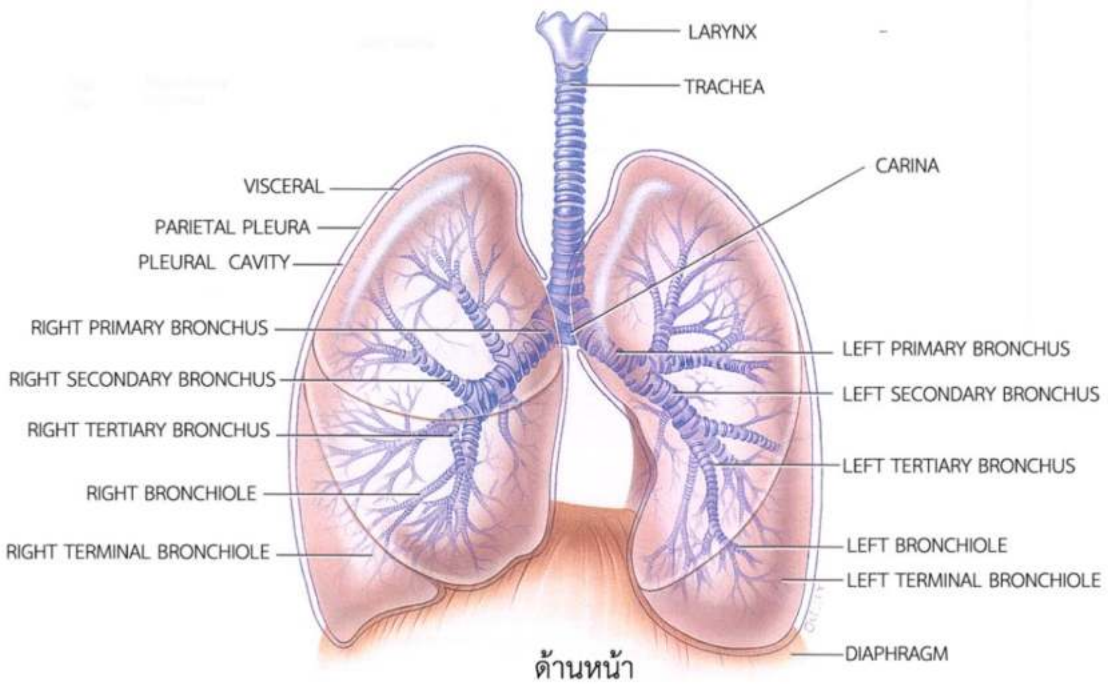

รูปที่ 7-8 แสดงการแตกแขนงของหลอดลม

จากการที่ bronchioles ไม่มีกระดูกอ่อนรูปตัว C แต่จะมีกล้ามเนื้อเรียบเพิ่มขึ้นมาแทน ในช่วงที่เกิดโรคหอบหืด กล้ามเนื้อเรียบที่ bronchioles จะหดเกร็ง และเมื่อไม่มีกระดูกอ่อนคอยพยุงค้ำไว้ การหดเกร็งที่เกิดขึ้นของกล้ามเนื้อเรียบสามารถบีบรัดทำให้รูของ bronchiole ตีบ ปิดกั้นทางผ่านของอากาศ ส่งผลให้อากาศเข้าถุงลมได้น้อยและหายใจมีเสียงดังในโรคหอบหืด

## ปอด (Lung)

ปอดบรรจุอยู่ในช่อง thoracic cavity ยกเว้นตางกลางที่เป็นเนื้อกลางอก เรียกว่า mediastinum ซึ่งเป็นที่อยู่ของหัวใจและหลอดเลือด ปอดมี 2 ข้าง (Right lung, Left lung) มีส่วนฐาน (Base) อยู่เหนือกล้ามเนื้อกระบังลม (Diaphragm) และจะมีส่วนยอด (Apex) ซึ่งมีลักษณะแคบ และเล็กกว่าอยู่ส่วนบนเหนือกระดูกไหปลาร้า ประมาณ 1.5-2.5 ซม. พื้นผิวภายนอกของปอด จะสัมผัสกับโครงสร้างอวัยวะ 3 ส่วน คือ

- Costal surface เป็นส่วนที่สัมผัสกับกระดูกซี่โครง
- Diaphragmatic surface เป็นส่วนพื้นผิวปอดที่สัมผัสกับกระบังลม
- Mediastinum surface เป็นส่วนพื้นผิวของปอดที่สัมผัสกับ mediastinum cavity ซึ่งบริเวณนี้จะมีส่วนซึ่งเป็นทางเข้าของหลอดลม (bronchus), หลอดเลือด (pulmonary blood vessel) และหลอดน้ำเหลือง (lymphatic vessel) เรียกว่า hilus (ขั้วปอด)




รูปที่ 7-9 แสดงกายวิภาคของปอด และหลอดลมระดับต่างๆ

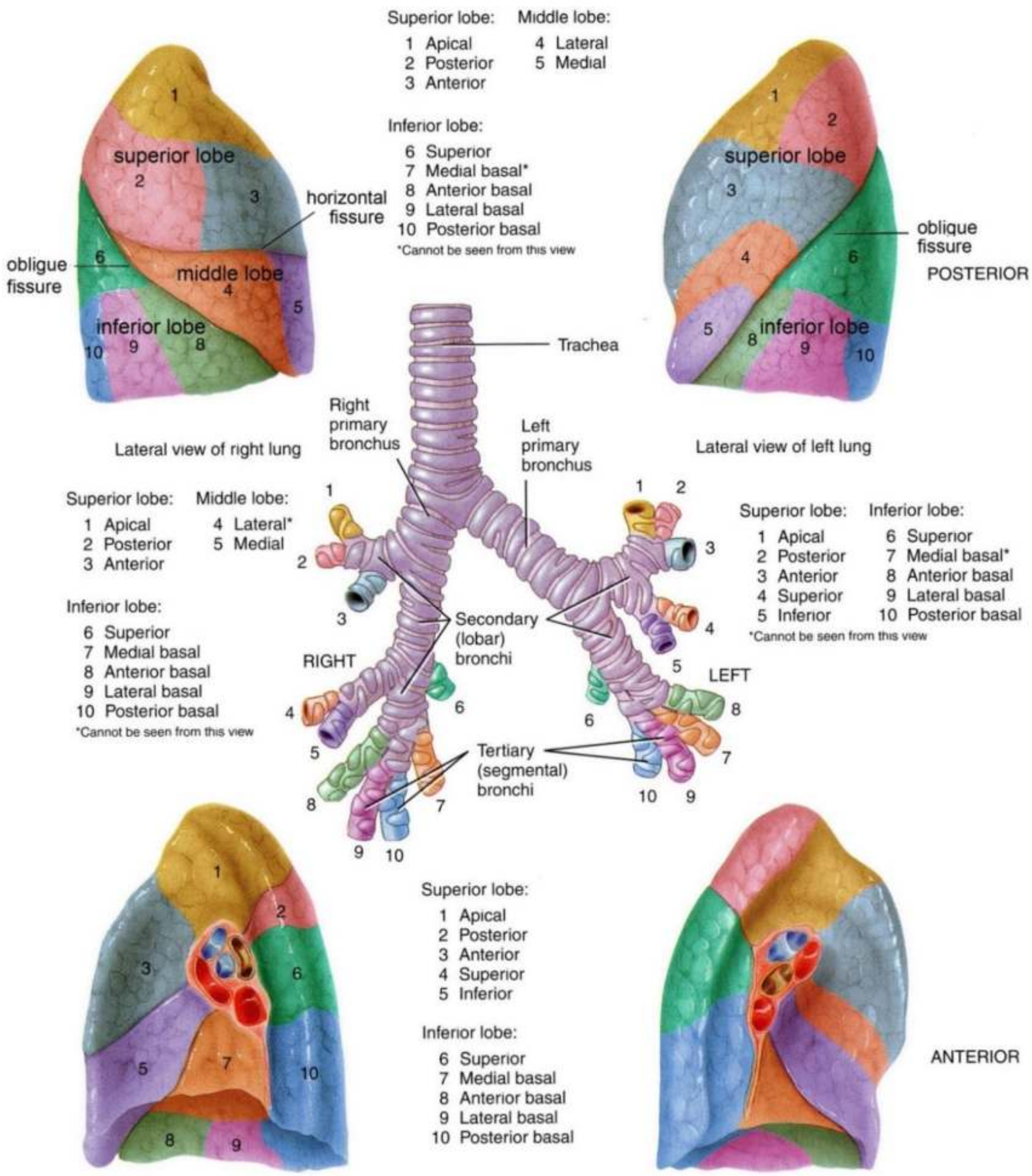
**ปอดขวา (Right Lung)** มี 3 กลีบ (lobe) ได้แก่ กลีบบน (superior lobe) กลีบกลาง (middle lobe) กลีบล่าง (inferior lobe)

**ปอดซ้าย (Left Lung)** มี 2 กลีบ (lobe) ได้แก่ กลีบบน (superior lobe) และกลีบล่าง (inferior lobe)

แต่ละกลีบจะได้รับหลอดลมเล็กระดับที่สอง (Secondary bronchus) เป็นของตัวเอง ดังนั้น Right primary bronchus จะแตกแขนงออกเป็นหลอดลมเล็กระดับที่สอง (Secondary bronchus) จำนวน 3 แขนง คือ Superior secondary bronchus, Middle secondary bronchus และ Inferior secondary bronchus, ส่วน Left primary bronchus จะแตกแขนงออกเป็นหลอดลมเล็กระดับที่สอง (Secondary bronchus) 2 แขนง คือ Superior secondary bronchus, Inferior secondary bronchus ในแต่ละกลีบปอด จะมีการแบ่งเป็นส่วนย่อยลงไปอีก เรียกว่า Segment หรือ Lobule ดังนี้

**ปอดขวา** กลีบบน (Superior lobe) แบ่งออกเป็น 3 Segment, กลีบกลาง (Middle lobe) แบ่งออกเป็น 2 Segment, กลีบล่าง (Inferior lobe) แบ่งออกเป็น 5 Segment

**ปอดซ้าย** กลีบบน (Superior lobe) แบ่งออกเป็น 5 Segment, กลีบล่าง (Inferior lobe) แบ่งออกเป็น 5 Segment

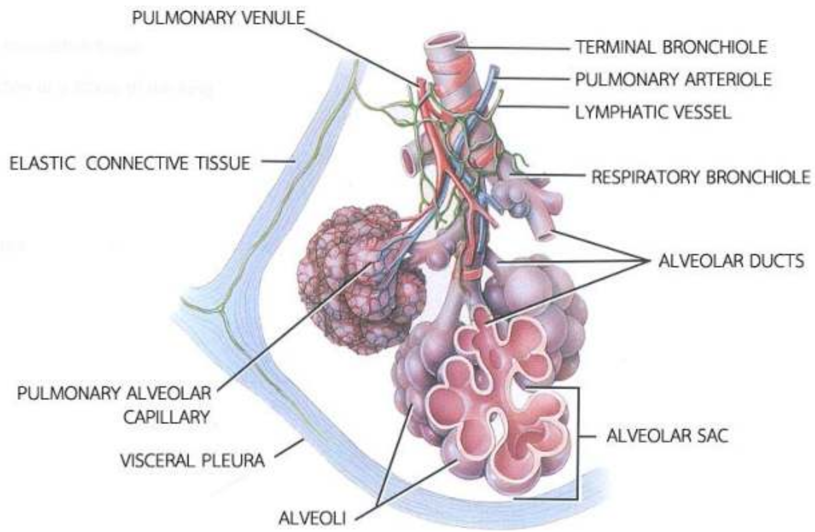



รูปที่ 7-10 แสดง Segment ของปอด

ดังนั้น ในปอดแต่ละข้างจะมี Segment รวมทั้งสิ้น 10 Segment เช่นเดียวกัน หลอดลมเล็กระดับที่สอง (Secondary bronchus) จึงมีการแตกแขนงไปเป็นหลอดลมเล็กระดับที่สาม (Tertiary bronchus) จำนวน 10 แขนงด้วย หรืออาจเรียกทั้งรวมกันว่า Bronchopulmonary segment ซึ่งในแต่ละ Bronchopulmonary segment จะประกอบไปด้วยหน่วยย่อย ๆ จำนวนมาก เรียกว่า Lobule

แต่ละ Lobule ประกอบด้วย Respiratory bronchiole, Arteriole, Venule และ Lymphatic vessel ด้วยเหตุนี้ เมื่อมีโรคเกิดขึ้นในแต่ละ segment เช่น มะเร็งหรือฝีในปอด แพทย์จึงสามารถที่จะตัดลอกเอา segment ที่เกิดโรคออกได้ โดยไม่กระทบกระเทือนต่อปอดที่เหลืออยู่

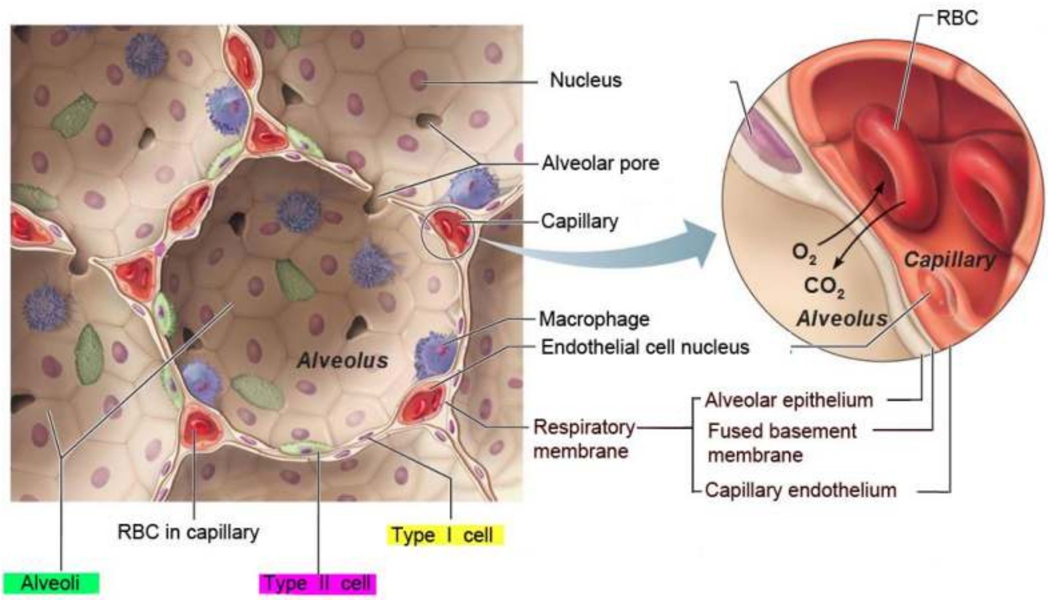
ในแต่ละหลอดลมเล็กระดับที่สาม (Tertiary bronchus หรือ Segmental bronchus) ยังจะมีการแตกแขนงต่อไปเป็น Bronchiole (หลอดลมฝอย), Terminal bronchiole (หลอดลมฝอยส่วนปลาย), Respiration bronchiole (หลอดลมฝอยหายใจ) ซึ่งเป็นส่วนเริ่มต้นที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซตามลำดับ ซึ่งในส่วนของ Respiration bronchiole (หลอดลมฝอยหายใจ) นี้จะมี Alveolar ducts, Alveolar sac และ Alveoli มาเกาะติดอยู่




รูปที่ 7-11 แสดงโครงสร้าง Lobule ของปอด

## ถุงลมปอด (Alveoli)

ในปอดทั้ง 2 ข้างจะมีถุงลมปอด (Alveoli) ประมาณ 300 - 350 ล้านถุง แต่ละถุงจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 200 ไมครอน มีพื้นที่ผิวรวมกันทั้งหมดประมาณ 70 - 90 ตร.ม. หรือประมาณเท่าสนามเทนนิส 1 สนาม

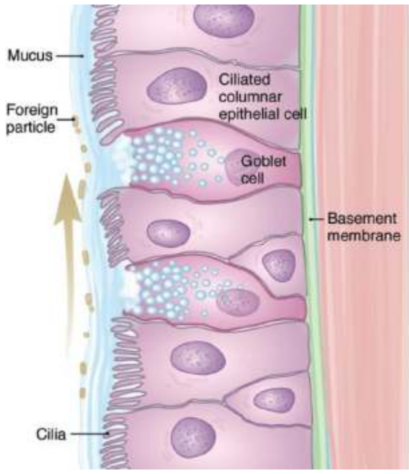



รูปที่ 7-12 แสดงโครงสร้างถุงลม

**โครงสร้างของผนังถุงลม** ประกอบด้วยเซลล์เยื่อบุชั้นเดียว ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. **Type I alveolar cells** เป็นเซลล์ส่วนใหญ่ของผนังถุงลม มีลักษณะแบนและบางมาก
2. **Type II alveolar cells (Surfactance secreting cell)** เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้าง และหลั่ง **สารลดแรงตึงผิว (surfactant)** ซึ่งช่วยทำให้ถุงลมไม่ตีบแฟบ

นอกจากนี้ ที่ผิวของเยื่อบุถุงลมยังมีเซลล์แมกโครเฟจ (macrophage หรือ alveolar macrophage) เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่กำจัดสิ่งแปลกปลอมเล็ก ๆ ที่หลุดเข้าสู่ถุงลมโดยการกินเซลล์ที่ตายแล้วจะถูกขับออกจากถุงลมปอดโดยเข้าสู่น้ำเหลือง หรือโดยกลไกการโบกพัดชั้นเยื่อเมือกของซีเลีย (mucociliary escalator) ในคนที่สูบบุหรี่พบว่าเซลล์แมกโครเฟจ จะสูญเสียความสามารถในการกำจัดสิ่งแปลกปลอม

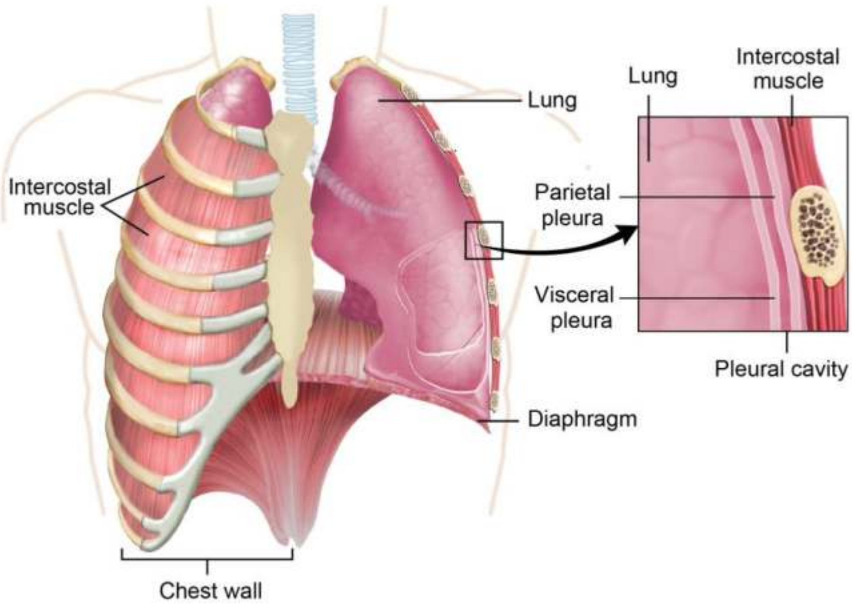



รูปที่ 7-13 แสดงกลไกการโบกพัดชั้นเยื่อเมือกของ cilia

## เยื่อหุ้มปอด (Pleura)

ปอดจะมีเยื่อหุ้ม เรียกว่า **Pleura** มี 2 ชั้น ได้แก่

1) **Parietal pleura** เป็นเยื่อหุ้มด้านนอกอยู่ติดกับผนังทรวงอก
2) **Visceral pleura** เป็นเยื่อหุ้มปอดอยู่ด้านในติดกับเนื้อปอด




รูปที่ 7-14 แสดงโครงสร้างเยื่อหุ้มปอดชั้น Parietal pleura และ Visceral pleura

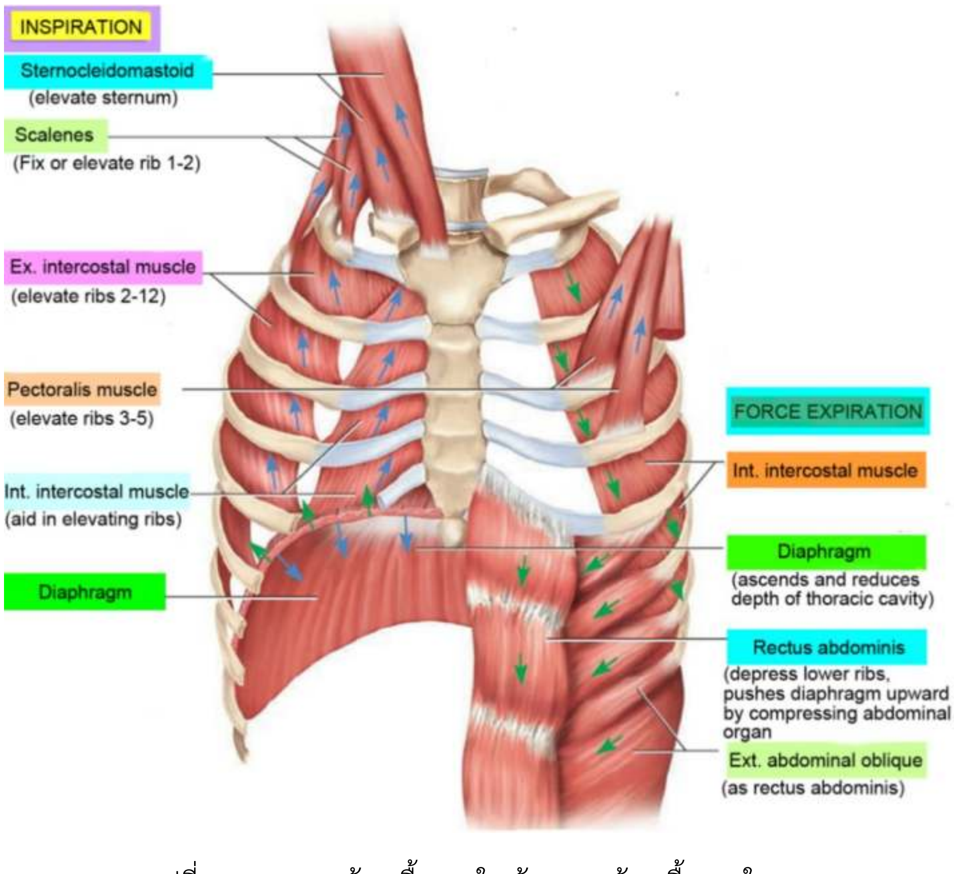
ระหว่างเยื่อหุ้มปอดทั้ง 2 ชั้น จะมีช่องว่างอยู่ เรียกว่า **pleural cavity** หรือ intrapleural space ซึ่งแท้จริงแล้วไม่ได้เป็นช่องว่างจริงๆ แต่อย่างใด มีเพียงของเหลวบางๆ จำนวนประมาณ 3-5 มล. แทรกตัวอยู่เพื่อทำหน้าที่หล่อลื่นลดการเสียดสี ถ้าหากมีความผิดปกติ เช่น มีน้ำอยู่ใน pleural cavity มากผิดปกติ เรียกว่า pleural effusion หรือถ้ามีเลือดอยู่ภายใน เรียกว่า hemothorax หรือถ้ามีลมเข้าไปอยู่ เรียกว่า pneumothorax ซึ่งสาเหตุเหล่านี้จะทำให้ปอดไม่สามารถขยายตัวได้เต็มที่ในระหว่างหายใจเข้า ทำให้เกิดอาการเหนื่อย

## กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจ

การหายใจ ประกอบด้วยการหายใจเข้าและหายใจออก โดยที่การขยายตัวและการหดตัวของปอดเกิดจากการเคลื่อนไหวของทรวงอกซึ่งเป็นผลจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้หายใจ เพราะปอดไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ด้วยตัวมันเอง กล้ามเนื้อที่ใช้หายใจแบ่งได้เป็น 2 พวก คือ กล้ามเนื้อหายใจเข้า และ กล้ามเนื้อหายใจออก

**1. กล้ามเนื้อหายใจเข้า** การหายใจเข้าเป็นการทำงานที่ต้องใช้พลังงาน กล่าวคือ มีการหดตัวของกระบังลม (Diaphragm) และ กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงชั้นนอก (External intercostal) เพื่อให้ปริมาตรของช่องอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันภายในปอดลดลง ประมาณ 4 มม.ปรอท อากาศจากภายนอกร่างกายจึงไหลเข้าสู่ปอด ในกลุ่มนี้ประกอบด้วย กระบังลม (Diaphragm) กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงชั้นนอก (External intercostal) กล้ามเนื้อเสริม

**1.1 กระบังลม (Diaphragm)** เป็นกล้ามเนื้อลายที่มีโครงสร้างคล้ายรูปโดม ทำหน้าที่เป็นผนังกั้นแบ่งระหว่างช่องอกกับช่องท้อง ประมาณ 75% ของอากาศที่หายใจเข้าเกิดจากการหดตัวของกระบังลม เมื่อกระบังลมหดตัวจะเคลื่อนตัวลงต่ำสู่ช่องท้องทำให้เพิ่มขนาดของทรวงอกทางแนวตั้ง




รูปที่ 7-15 แสดงกล้ามเนื้อหายใจเข้า และกล้ามเนื้อหายใจออก

**1.2 กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงชั้นนอก (External intercostal)** เป็นกล้ามเนื้อลายที่อยู่ระหว่างซี่โครงด้านนอก เส้นใยกล้ามเนื้อวางตัวในแนวเฉียงลงมาทางด้านหน้า โดยมีจุดเกาะต้น (origin) อยู่ที่ขอบล่างของกระดูกซี่โครงชิ้นบน แล้วทอดตัวเฉียงลงมาทางด้านหน้ามาเกาะกับจุดเกาะปลาย (insertion) ที่ขอบบนของกระดูกซี่โครงชิ้นล่างที่อยู่ถัดลงไป เวลากล้ามเนื้อหดตัวกระดูกซี่โครงจะถูกยกขึ้นพร้อมกับกางออกไป ทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางของทรวงอกขยายออกทางขวางและด้านหน้าและด้านหลัง ปริมาตรทรวงอกจึงเพิ่มขึ้น ในการหายใจเข้าธรรมดา 25% ของอากาศที่เข้าปอดเกิดจากกล้ามเนื้อกลุ่มนี้

**1.3 กล้ามเนื้อเสริม** ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Sternocleidomastoid และ Scalene กล้ามเนื้อกลุ่มนี้จะเริ่มทำงาน เมื่อร่างกายต้องการมีการหายใจเพิ่มมากกว่าปกติ เช่น ในขณะออกกำลังกายหรือเกิดพยาธิสภาพ

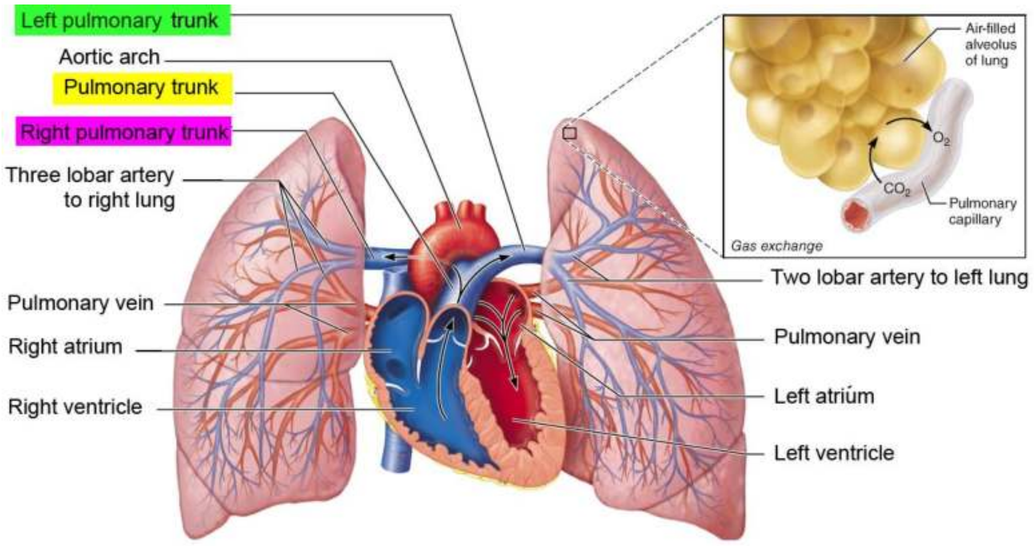
**2. กล้ามเนื้อหายใจออก** โดยปกติการหายใจออก จะเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นโดยไม่ต้องใช้พลังงาน (Passive process) ซึ่งเกิดจากการคลายตัวของกล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงชั้นนอกกับกระบังลม ทำให้ทรวงอกเล็กลงและอาศัยคุณสมบัติยืดหยุ่น (Elastic recoil) ของปอด ทำให้ความดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อากาศจึงไหลออกจากปอด

ถ้าหายใจออกแรงๆ ต้องใช้กล้ามเนื้ออื่นช่วย กลุ่มกล้ามเนื้อหายใจออก จะเริ่มทำหน้าที่เมื่อมีการหายใจเพิ่มมากกว่าปกติ คือ มีการระบายอากาศเพิ่มมากกว่า 40 ลิตรต่อนาที เช่น ในขณะออกกำลังกายหรือเกิดการอุดตันของทางเดินหายใจ ประกอบด้วย Internal intercostal muscle และ กล้ามเนื้อผนังหน้าท้อง ได้แก่ Internal และ External oblique abdominis, Rectus abdominis, Transverse abdominis

การหดตัวของกล้ามเนื้อเหล่านี้ ทำให้ความดันภายในช่องท้องเพิ่มขึ้น อวัยวะในช่องท้องจึงถูกดันขึ้น กระบังลมสูงขึ้น ปริมาตรช่องอกจึงลดลงตามไปด้วย

## การไหลเวียนเลือดในปอด

เลือดดำจะผ่านออกจากหัวใจห้องล่างขวา ทางหลอดเลือด Pulmonary trunk ซึ่งจะแบ่งออกเป็น Pulmonary artery จำนวน 2 เส้น ไปปอดข้างซ้ายและปอดข้างขวา และจะมีการแตกแขนงเล็กลงจนกลายเป็นหลอดเลือดฝอย พันอยู่รอบๆ ถุงลม




รูปที่ 7-16 แสดงการไหลเวียนเลือดในปอด

เมื่อเลือดดำ (Deoxygenated) รับออกซิเจนจากอากาศในถุงลมแล้วจะกลับกลายเป็นเลือดแดง (Oxygenated) กลับสู่หัวใจห้องบนซ้าย (Left atrium) ทาง Pulmonary vein 4 เส้น

## ตอนที่ 2
## กลไกการหายใจ (Mechanism of Breathing)

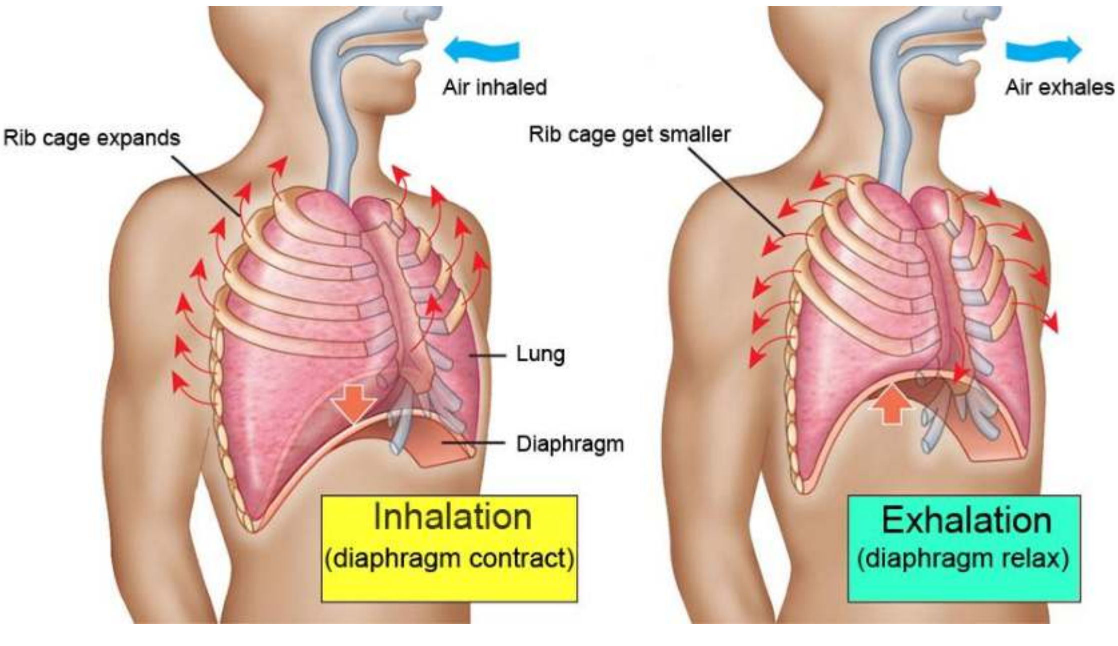
### การหายใจเข้า-ออกปกติ

การหายใจเข้าออกปกติ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การหายใจเข้า (Inspiration หรือ Breathing in) และ การหายใจออก (Expiration หรือ Breathing out) ซึ่งการที่อากาศจะเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากปอดได้ จะต้องมีความแตกต่างของความดันบรรยากาศ ระหว่างอากาศในบรรยากาศ กับ อากาศในถุงลมปอด

ความดันอากาศในบรรยากาศ หรือความดันบรรยากาศมีค่า 760 มม.ปรอท ส่วนอากาศในถุงลม ซึ่งมีทางติดต่อกับภายนอกได้ ก็มีค่าความดันบรรยากาศมีค่า 760 มม.ปรอท เช่นเดียวกัน ในขณะที่ไม่มีการหายใจ อากาศจึงไม่มีการไหลเข้าปอด และเมื่อใดก็ตามที่ความดันในถุงลมปอดถูกทำให้ลดต่ำลง หรือสูงขึ้นกว่าความดันบรรยากาศ จากที่ที่มีความดันสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำกว่า จะทำให้มีการไหลของอากาศเข้าและออกจากปอด เกิดเป็นการหายใจเข้าและออก

กลไกการหายใจเป็นกลไกที่ต้องใช้พลังงาน (active process) อธิบายง่ายๆ ดังนี้ เมื่อกระแสสัญญาณประสาทจากศูนย์การหายใจเข้า (dorsal Respiration Group, DRG) ซึ่งอยู่ในเมดัลลา ส่งสัญญาณประสาทไปยังกระบังลม (diaphragm) ทำให้กระบังลมหดตัวโดยส่วนยอดโดมจะแบนราบลง เป็นการเพิ่มปริมาตรทรวงอกทางแนวตั้ง และในขณะเดียวกัน ขอบล่างทั้ง 2 ข้างของแผ่นกระบังลมจะช่วยยกกระดูกซี่โครงซี่ล่างๆ ที่ยึดติดอยู่ให้สูงขึ้นและกางออก นอกจากนี้ยังมีการหดตัวของกล้ามเนื้อระหว่างช่องซี่โครงด้านนอก (external intercostal muscle) ทำให้กระดูกซี่โครงชิ้นบนๆ ถูกยกสูงขึ้นและกางออก เป็นการช่วยเพิ่มปริมาตรช่องอกให้มากขึ้น

เมื่อช่องทรวงอกอกเพิ่มปริมาตรมากขึ้น เนื้อปอดซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี และแนบติดอยู่กับโครงส่วนอก จะถูกดึงให้มีการขยายตามไปด้วย ความดันอากาศในถุงลมปอดหรือในปอด (alveolar pressure หรือ intrapulmonary pressure) จะลดต่ำกว่าบรรยากาศภายนอก ซึ่งมีค่า 760 มม.ปรอท (ในการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการหายใจ นิยมกำหนดค่าเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ โดยให้ความดันบรรยากาศเป็น 0 ซม.น้ำ




รูปที่ 7-17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของผนังทรวงอก ในการหายใจเข้า และหายใจออก

ขณะหายใจปกติ เมื่อปอดขยายความดันภายในปอดจะลดลงจาก 0 เป็นประมาณ -1 ซม.น้ำ เมื่อเทียบกับความดันบรรยากาศ ทำให้มีการไหลของอากาศตามความลาดความดันเข้ามาในปอด เกิดเป็นการหายใจเข้า จนกระทั่งความดันในถุงลมปอดสูงขึ้นเท่ากับความดันบรรยากาศอีกครั้ง อากาศจึงหยุดไหล เป็นการสิ้นสุดการหายใจเข้า

ส่วนการหายใจออก เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้พลังงาน (Passive process) เกิดขึ้นเมื่อมีการคลายตัวของกล้ามเนื้อหายใจเข้าทั้ง 2 ชุด คือ กระบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างช่องซี่โครงด้านนอก โดยเมื่อกระบังลมคลายตัว ก็จะถูกอวัยวะในช่องท้องหนุนให้เคลื่อนกลับขึ้นด้านบนมีลักษณะเป็นรูปโดมเหมือนเดิม ส่วนกล้ามเนื้อระหว่างช่องซี่โครงด้านนอกเมื่อคลายตัว กระดูกซี่โครงจะหุบลง ทั้ง 2 ประการนี้ทำให้โครงทรวงอกมีปริมาตรลดลง ปอดซึ่งแนบติดกับโครงทรวงอกก็จะหดกลับ (elastic recoil) ทำให้ความดันในถุงลมเพิ่มสูงขึ้นกว่าความดันบรรยากาศ อากาศในถุงลมจึงไหลออกสู่ภายนอก เกิดเป็นการหายใจออก จนกระทั่งความดันภายในถุงลมเท่ากับบรรยากาศภายนอกอีกครั้ง อากาศจึงหยุดไหล เป็นการสิ้นสุดการหายใจออก

## การหายใจออกแบบใช้พลังงาน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การหายใจออกปกติเป็นกลไกที่ไม่ต้องใช้พลังงาน อาศัยเพียงการคลายตัว และการหดตัวเข้าที่เดิมของเนื้อปอดและโครงทรวงอก แต่ในการหายใจออกแรงๆ อย่างในผู้ที่กำลังออกกำลังกาย หรือในผู้ป่วยโรคถุงลมโป่งพอง จำเป็นต้องอาศัยกล้ามเนื้อช่วยหายใจออก เช่น กล้ามเนื้อระหว่างช่องซี่โครงด้านใน(internal intercostal muscle) ช่วย โดยเมื่อกล้ามเนื้อหน้าท้องหดตัว จะกดลงบนอวัยวะในช่องท้อง และบีบให้อวัยวะในช่องท้องไปดันกระบังลมให้เคลื่อนขึ้นมาทางด้านบน เป็นการลดปริมาตรในช่องทรวงอก ส่วนกล้ามเนื้อระหว่างช่องซี่โครงด้านใน เมื่อหดตัวจะดึงกระดูกซี่โครงเข้าหากัน ทำให้โครงทรวงอกหุบตัวลดปริมาตรลง ทั้ง 2 วิธีนี้ เป็นการดันอากาศออกจากปอดได้ง่ายขึ้น

ในระหว่างการหายใจเข้าลึกและแรง จะมีกล้ามเนื้ออีกหลายชนิด เช่น กล้ามเนื้อคอ และอก (กล้ามเนื้อ scalene, sternocleidomastoid) ทำหน้าที่ช่วยในการหายใจเข้า เรียกกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ว่า accessory muscle of inspiration

## การเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาตรปอดขณะหายใจ

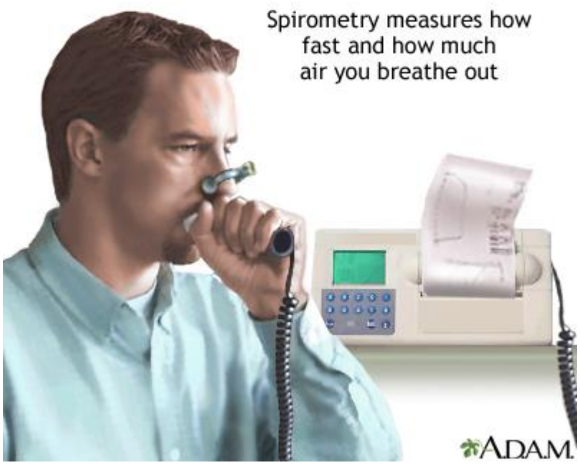
**1. Intrapleural pressure** คือ ความดันภายในช่องเยื่อหุ้มปอด (Pleural cavity) ซึ่งปอดปกติมีความโน้มเอียงที่จะหดกลับ และแยกตัวออกจากทรวงอกเนื่องจากมีความยืดหยุ่น (elasticity) ทำให้ความดันในช่องเยื่อหุ้มปอดมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Negative pressure) และจะเปลี่ยนแปลงตามการหายใจ คือ เมื่อสิ้นสุดการหายใจออกจะมีค่า ประมาณ -4 มม.ปรอท เวลาหายใจเข้าจะมีค่าเป็นลบมากขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหายใจเข้าจะมีค่าเป็นลบประมาณ -7 มม.ปรอท

**2. Intrapulmonary (Intra-alveolar) pressure** คือ ความดันภายในทางเดินอากาศและภายในถุงลมจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามการหายใจ คือ เมื่อสิ้นสุดการหายใจเข้า หรือหายใจออกจะมีค่าเท่ากับบรรยากาศ (760 มม.ปรอท) คิดเป็น 0 มม.ปรอท เมื่อหายใจเข้าจะมีค่า -1 มม.ปรอท และเมื่อหายใจออกจะมีค่า +1 มม.ปรอท

สำหรับค่าที่เรียกว่า Transpulmonary pressure เป็นค่าทางคณิตศาสตร์โดยคำนวณจากการนำค่า Intrapulmonary pressure ลบด้วยค่า Intrapleural pressure เมื่อสิ้นสุดการหายใจเข้าจะมีค่าประมาณ +7 มม.ปรอท และสิ้นสุดการหายใจออกจะมีค่า +4 ซึ่งค่ายิ่งมากแสดงถึงการที่ปอดขยายตัวมาก

## ปริมาตรอากาศจากการหายใจและความจุของปอด (Lung Volumes and Capacity)

เราสามารถวัดปริมาตรของอากาศที่เกี่ยวข้องในการหายใจเข้าออก โดยใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า Spirometer




รูปที่ 7-18 แสดงการวัดปริมาตรของอากาศ โดยใช้เครื่องมือ Spirometer

**1. ปริมาตรอากาศจากการหายใจลักษณะต่างๆ** เมื่อหายใจเข้าออกปกติและหายใจเข้าออกเต็มที่ โดยใช้เครื่อง spirometer แต่ละปริมาตรจะมีชื่อเรียก ความหมาย และค่าปกติ ดังนี้

**1.1 ปริมาตรหายใจปกติ (Tidal volume, TV)** คือ ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าหรือออกจากปอด ในการหายใจปกติ 1 ครั้ง ค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 500 มล.

**1.2 ปริมาตรหายใจเข้าสำรอง (Inspiratory reserve volume, IRV)** คือ ปริมาตรอากาศที่เกินจากปริมาตรหายใจเข้าปกติ ในการหายใจเข้าเต็มที่ 1 ครั้ง ค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 3,000 มล.

**1.3 ปริมาตรหายใจเข้าสำรอง (Expiratory reserve volume, ERV)** คือ ปริมาตรอากาศที่เกินจากปริมาตรหายใจออกปกติ ในการหายใจเข้าเต็มที่ 1 ครั้ง ค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 1,100 มล.

**1.4 ปริมาตรตกค้าง (Residual volume, RV)** คือ ปริมาตรของอากาศที่ยังเหลือค้างอยู่ในปอดหลังจากการหายใจออกอย่างแรงเต็มที่แล้ว ค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 1,200 มล.

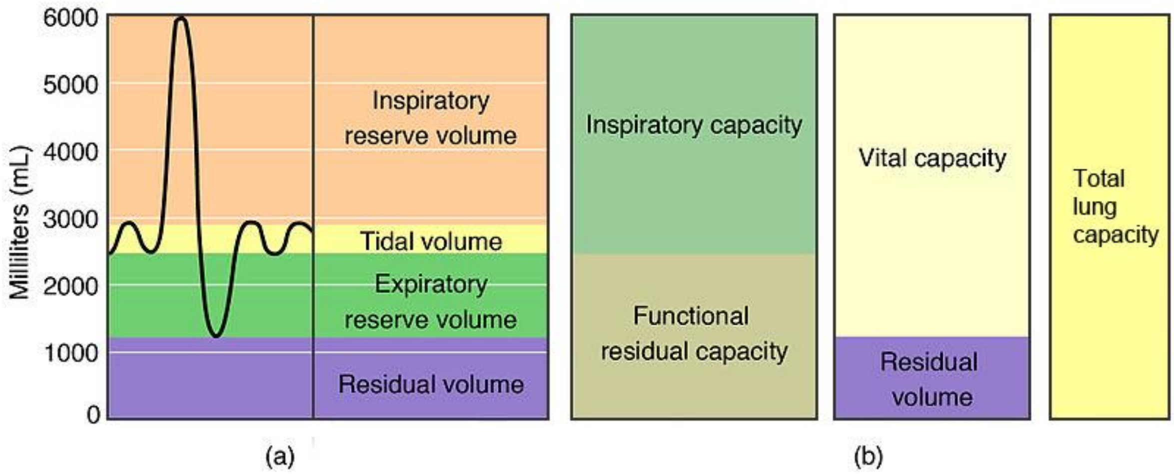
**2. ความจุปอด (Lung capacity)** ประกอบด้วย

**2.1 ความจุหายใจเข้า (Inspiratory capacity, IC)** คือ ปริมาตรอากาศจากการหายใจเข้าลึกที่สุดหลังจากการหายใจออกปกติ มีค่าเท่ากับผลรวมของ TV และ IRV ปกติมีค่าประมาณ 3,800 มล.

**2.2 ความจุปกติ (Vital capacity, VC)** คือ ปริมาตรอากาศจากการหายใจเข้าลึกที่สุด หลังจากการหายใจออกเต็มที่ หรือปริมาตรหายใจออกเต็มที่หลังจากหายใจเข้าลึกที่สุดแล้ว 1 ครั้ง มีค่าเท่ากับผลรวมของ TV, IRV และ ERV ปกติมีค่าประมาณ 4,800 มล.

**2.3 ความจุปอดตกค้าง (Functional residual capacity, FRC)** คือปริมาตรอากาศที่เหลืออยู่ในปอดหลังจากหายใจออกปกติ มีค่าเท่ากับผลรวมของ ERV กับ RV ปกติมีค่าประมาณ 2,500 มล.

**2.4 ความจุปอดรวม (Total lung capacity, TLC)** คือ ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ปอดจุได้ เป็นผลรวมของ VC กับ RV ปกติมีค่าประมาณ 6,000 มล.




รูปที่ 7-19 แสดงปริมาตรของปอด (Lung volume) และความจุของปอด (Lung Capacity)

ผู้ใหญ่ปกติมีอัตราการหายใจ (respiratory rate, RR) เท่ากับ 12-15 ครั้ง/นาที ผลคูณของ RR กับ TV คือ ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าหรือออกจากปอดในเวลา 1 นาที เรียกว่า **Respiratory minute volume** หรือ minute ventilation ($V_E$) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 500 X 12 = 6,000 มล./นาที (เมื่อ TV = 500 มล. และ RR = 12 ครั้ง/นาที)

อากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้ง ส่วนหนึ่งประมาณ 150 มล. จะอยู่ในส่วนของท่อทางเดินอากาศ ที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนแก๊ส เรียกว่า **anatomical dead space** ดังนั้น อากาศใหม่ที่จะผ่านไปถึงถุงลมปอด และสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ ใน 1 นาที จะมีปริมาตรเพียง (500-150) X 12 หรือประมาณ 4,200 มล./นาทีเท่านั้น ค่านี้ เรียกว่า **alveolar ventilation ($V_A$)**

## ความสามารถในการขยายปริมาตรของปอด (Lung compliance)

หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรต่อ 1 หน่วยความดันที่เปลี่ยน มีหน่วยเป็นลิตรต่อเซนติเมตรน้ำ ดังสมการ

$$C = \triangle V / \triangle P$$

| เมื่อ | C | คือ ความยืดหยุ่นของปอด มีหน่วยเป็น มล./ซม.น้ำ |
|---|---|---|
| | $\triangle V$ | คือ ปริมาตรของปอดที่เปลี่ยนแปลงไป มล. |
| | $\triangle P$ | คือ ผลต่างของความดันที่ผนังด้านในและด้านนอกของปอด ซม.น้ำ |

ค่าความยืดหยุ่นนี้ แสดงถึงความยากง่ายในการขยายปอดขณะหายใจเข้า ปอดที่มีความยืดหยุ่นสูง ย่อมสามารถขยายปริมาตรได้มากกว่าเมื่อใช้ความดันเท่ากัน หรือใช้แรงดันน้อยกว่าในการที่จะขยายปริมาตรให้ได้เท่ากัน

**ปัจจัยที่มีผลต่อ Lung compliance**

1. เนื้อเยื่อปอดเอง หากเนื้อปอดยืดหยุ่นดีจะขยายตัวได้ดี หากปอดแข็งจะขยายตัวไม่ดี ค่าของ lung compliance จะลดลงในโรคปอดบางชนิด ที่ elastic tissue ถูกแทนที่โดย collagen fiber และ fibrous tissue เช่น pulmonary edema (น้ำท่วมปอด) และ atelectasis (ปอดแฟบ) ค่าของ lung compliance จะสูงในผู้ป่วยที่มีการทำลายของ elastic tissue เช่น pulmonary emphysema (ถุงลมโป่งพอง)

2. แรงตึงผิวที่ถุงลมปอด (Surface tension)

## แรงตึงผิวที่ถุงลมปอด และ สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

แรงตึงผิว (surface tension) หมายถึง แรงที่เกิดจากการดึงดูดระหว่างโมเลกุลของ ๆ เหลว ที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศ โดยของเหลวจะพยายามหดตัวเข้าหากันเพื่อลดพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศให้เหลือน้อยที่สุด ในกรณีของฟองอากาศในของเหลว ผิวสัมผัสระหว่างอากาศและของเหลวเป็นทรงกลม แรงตึงผิวของของเหลวซึ่งพยายามลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฟองอากาศ จะทำให้ฟองอากาศเพิ่มขึ้น ยิ่งฟองอากาศมีขนาดเล็กความดันที่เกิดจากแรงตึงผิวจะยิ่งสูงขึ้น ต้องอาศัยแรงดันที่มากในการที่จะทำให้มันขยายปริมาตรได้ และในกรณีที่ฟองอากาศ 2 ฟองติดต่อถึงกัน ฟองอากาศที่มีขนาดเล็กกว่าจะแฟบอย่างรวดเร็ว โดยอากาศจะถูกดันเข้าไปในฟองอากาศขนาดใหญ่

ถุงลมปอดมีลักษณะเป็นทรงกลมเล็กๆ มีทางติดต่อเชื่อมถึงกัน ที่ผิวด้านในมีของเหลวฉาบอยู่ ของเหลวที่ฉาบที่ผิวถุงลมจะหดรัดตัวเข้าหากันเกิดเป็นความดัน เนื่องจากแรงตึงผิว ในทิศทางที่พยายามจะลดขนาดหรือปริมาตรของถุงลมลง ทำให้ในการหายใจเข้าต้องใช้ความดันส่วนหนึ่งมาหักล้างกับความดันอันเนื่องจากแรงตึงผิวนี้ก่อน จึงจะสามารถขยายปอดได้

ในความเป็นจริง ถุงลมปอดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ต่างก็ลดปริมาตรได้อย่างสม่ำเสมอขณะหายใจออก โดยไม่มีการหดแฟบของถุงลมเล็กเข้าไปในถุงลมใหญ่ เนื่องจากของเหลวที่เคลือบปอดมีส่วนผสมของสารไขมัน ชนิดหนึ่งคือ dipalmitoyl lecithin ซึ่งสามารถลดแรงตึงผิวของถุงลมปอดได้ เรียกสารนี้ว่า สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. ช่วยลดแรงตึงผิว ของของเหลวในถุงลม เป็นการลดงานหรือลดความดันที่ต้องใช้ในการขยายถุงลมปอดเวลาหายใจเข้า
2. คุณสมบัติในการลดแรงตึงผิว จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดพื้นที่ผิวของถุงลม โดยพบว่าสารลดแรงตึงผิวจะลดแรงตึงผิวได้มากกว่าในขณะที่ถุงลมกำลังหดตัว นั่นคือแรงตึงผิวที่ผนังของถุงลมไม่คงที่
3. ช่วยลดการแทรกซึมของของเหลวที่จะเข้ามาในหลอดลม

สารลดแรงตึงผิว สร้างจากเซลล์ชื่อ **Type II alvelolar epithelial cell** เมื่อเด็กมีอายุครรภ์ได้ 30 สัปดาห์ ดังนั้น หากทารกคลอดก่อนกำหนด มักจะพบปัญหาในการหายใจ ทำให้หายใจลำบากเนื่องจากขาดสารลดแรงตึงผิว เรียกกลุ่มอาการโรคนี้ว่า **Infant Respiratory Distress Syndrome (IRDS)**

## ความต้านทานต่อการไหลของอากาศ (Resistance to air flow)

ในการหายใจเข้า นอกจากร่างกายจะต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งในการทำให้เกิดการขยายปริมาตรของทรวงอกและปอด ร่างกายต้องใช้พลังงานอีกส่วนหนึ่งเพื่อเอาชนะความต้านทานต่อการไหลของอากาศเข้าสู่ปอดด้วย ประกอบด้วย

1. **การเสียดสี** ระหว่างโมเลกุลของอากาศด้วยกันเอง ซึ่งในภาวะปกติมีค่าเพียงเล็กน้อย

2. **ขนาดของท่อทางเดินอากาศ** โดยความต้านทานของท่อทางเดินอากาศจะเป็นปฏิภาคผกผันกับรัศมียกกำลังสี่ ซึ่งเมื่อทางเดินอากาศเล็กลงครึ่งหนึ่งจะทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นถึง 16 เท่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดของท่อทางเดินอากาศ เช่น

=> **Parasympathetic nerve** ที่ไปเลี้ยงหลอดลมจะหลั่ง Acetylcholine ออกมาเมื่อมีการกระตุ้นส่งผลให้หลอดลมหดตัว

=> **Sympathetic nerve** ที่ไปเลี้ยงหลอดลมจะมีน้อย แต่เมื่อร่างกายต้องการอากาศเพิ่มขึ้น เช่น ขณะออกกำลังกาย ประสาทซิมพาเทติกที่ไปเลี้ยงต่อมหมวกไตชั้นในจะกระตุ้นให้หลั่ง Epinephrine และ

Norepinephrine เข้าสู่กระแสเลือดไปกระตุ้น β-Adrenergic receptor ที่บริเวณหลอดลมส่งผลให้หลอดลมขยายตัว

=> **Histamine** ซึ่งหลั่งจากเซลล์ ชื่อ Mast cells ที่อยู่ในชั้นใต้กล้ามเนื้อเรียบของหลอดลม เมื่อเกิดปฏิกิริยาภูมิแพ้ เช่น โรคหอบหืด ทำให้หลอดลมตีบตัว หายใจลำบาก

**3. ความยาวของท่อทางเดินอากาศ** ซึ่งความต้านทานการไหลของอากาศจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของท่อทางเดินอากาศ หากความยาวเพิ่มขึ้นความต้านทานจะเพิ่มขึ้นด้วย

## งานของการหายใจ (Work of Breathing)

งานของการหายใจงานของการหายใจ หรือพลังงานที่ใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อเพื่อการหายใจเข้าและหายใจออก จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ

1. ความต้านทานต่อการไหลของอากาศ (Resistance to air flow) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด และความยาวของท่อทางเดินอากาศเป็นหลัก
2. ความสามารถในการขยายปริมาตรของปอด (Lung compliance) ซึ่งขึ้นอยู่กับเนื้อเยื่อปอดเอง และแรงตึงผิวของเหลว (Surface tension) ที่ฉาบอยู่ในถุงลม
3. ความยืดหยุ่นของปอดในการหดตัวกลับ (Lung elastance หรือ elastic recoil) ถ้า Elastic tissue ของเนื้อปอดลดจำนวน หรือเสื่อมสมรรถภาพ elastic recoil force ของปอดก็จะลดลงทำให้การหายใจออกต้องอาศัยกล้ามเนื้อ Internal intercostal และกล้ามเนื้อผนังหน้าท้องเพิ่มมากขึ้น

## การทดสอบการทำงานของระบบหายใจ (Lung function test)

=> **Maximum voluntary ventilation : MVV** เป็นการวัดปริมาตรหายใจสูงสุดต่อนาที โดยการหายใจให้ลึกที่สุดเร็วที่สุดเป็นเวลา 12 วินาที แล้วมาคำนวณปริมาตรอากาศเป็น ลิตร/นาที ค่าปกติอยู่ระหว่าง 120-200 ลิตร/นาที เพื่อดูสมรรถภาพของกล้ามเนื้อช่วยหายใจ และความต้านทานของท่อทางเดินหายใจว่าอยู่ในระดับปกติหรือไม่

=> **Forced expiratory volume : FEV** เป็นการวัดปริมาตรหายใจออกเต็มที่ในช่วงเวลาที่กำหนด โดยหายใจเข้าลึกที่สุด (VC) แล้วหายใจออกให้แรงที่สุดและเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ผ่านเครื่องมือชื่อ Spirometer แล้ววัดปริมาตรอากาศและเวลาหายใจออกไว้ หากปริมาตรอากาศน้อยกว่ามาตรฐานหรือใช้เวลามากกว่ามาตรฐานแสดงว่าความต้านทานของทางเดินอากาศขณะหายใจออกมีมาก ซึ่งในคนปกติร้อยละ 68.4 ของอากาศ VC จะต้องถูกหายใจออกมาภายใน 0.5 วินาทีแรก และร้อยละ 84 ภายใน 1 วินาที เรียกเป็นค่า **FEV1** ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้มากที่สุด

=> **Peak expiratory flow rate : PEFR** เป็นการวัดอัตราการหายใจออกสูงสุด โดยการหายใจออกอย่างเต็มที่ผ่าน Spirometer หากอัตราการไหลของอากาศจากการหายใจออกต่ำกว่าค่าปกติ แสดงว่ามีการเพิ่มของความต้านทานของทางเดินอากาศต่อการหายใจออก หรือมีการลด Elastic recoil ของปอด ซึ่งในคนปกติมีค่าประมาณ 350-500 ลิตร/นาที

***********************************

# ตอนที่ 3
# การไหลเวียนเลือด และอากาศที่ปอด
# (Pulmonary circulation and Ventilation)

การแลกเปลี่ยนแก๊สที่ปอดจะมีประสิทธิภาพต่อเมื่ออัตราการนำอากาศเข้าปอดและออกจากปอดต่อนาที หรืออัตราการระบายอากาศของปอด (pulmonary ventilation) จะต้องเหมาะสมกับอัตราการนำเลือดเข้ามาสู่ปอด (pulmonary blood flow หรือ lung perfusion) เลือดที่มายังถุงลมปอดจะต้องเพพียงพอที่จะรับออกซิเจนไปจากถุงลม และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ออกสู่ถุงลม ได้ในปริมาณที่ร่างกายต้องการในขณะนั้นๆ ในบทเรียนนี้จะได้กล่าวถึงระบบไหลเวียนเลือดและอากาศที่มายังปอด และกลไกการทำงานของร่างกายในอันที่จะทำให้การทำงานของทั้ง 2 ส่วนมีความสมดุลกัน

## การไหลเวียนเลือดที่ระบบหายใจ

เลือดที่มายังระบบหายใจ มี 2 ส่วน คือ

**1. เลือดที่ไปยังหลอดลม** มีประมาณ 2% ของเลือดที่ออกจากหัวใจซีกซ้ายที่นำเลือดออกไปเลี้ยงทั่วร่างกาย โดยแยกเป็น bronchial artery มาหล่อเลี้ยงท่อทางเดินหายใจ จากนั้นรวมกันเป็น bronchial vein นำเลือดดำกลับเข้าสู่หัวใจตามปกติ

**2. เลือดที่ไปยังปอด** เลือดดำที่ออกจากหัวใจห้องล่างขวา ผ่านมาตาม pulmonary artery หลังจากมีการแตกแขนงตามลำดับจนมาถึงถุงลมปอด จะมีลักษณะเหมือนร่างตาข่ายโอบล้อมถุงลมไว้ pulmonary artery นี้จะนำเลือดซึ่งมี Po2 ต่ำ และมี Pco2 สูงมา ทำการแลกเปลี่ยนแก๊สที่ปอด เลือดที่ผ่านออกจากเส้นเลือดฝอยของปอด (pulmonary capillary) จึงเป็นเลือดดี มี Po2 สูง ประมาณ 100 มม.ปรอท และมี Pco2 ต่ำ ประมาณ 40 มม.ปรอท เลือดที่ดีเหล่านี้จะเข้าสู่หลอดเลือด pulmonary venule และ pulmonary vein ตามลำดับ กลีบเข้าสู่หัวใจห้องบนซ้าย ตามลำดับ

**3. อัตราการไหลของเลือดที่ไปยังปอด** เนื่องจากอัตราการไหลของเลือดที่ไปยังปอด (pulmonary blood flow) มีค่าใกล้เคียงกับเลือดที่ออกจากหัวใจไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย (cardiac output) คือ ประ มาณ 5 ลิตร/นาที ในขณะพัก ระบบไหลเวียนเลือดที่ปอดจะบรรจุไว้ได้ ประมาณ 500 มล. ในจำนวนนี้ประมาณ 70 มล.จะอยู่ในส่วนหลอดเลือดฝอยของปอด ซึ่งโดยความจริงแล้วถ้าหลอดเลือดฝอยของปอดเปิดหมดทุกเส้น แล้ว จะมีความจุของเลือดได้ถึง 200 มล. ในขณะออกกำลังกาย cardiac output จะมากขึ้น เลือดที่ไปปอดต่อนาทีและเลือดที่อยู่ในหลอดเลือดฝอยของปอดก็จะเพิ่มสูงขึ้น โดยการเปิดหลอดเลือดฝอยให้มากขึ้น ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนแก๊สได้ตามความต้องการของร่างกาย

## ความต้านทานของระบบไหลเวียนเลือดที่ปอด

โครงสร้างของหลอดเลือดในระบบ pulmonary circulation จะแตกต่างจากหลอดเลือดในระบบไหลเวียน systemic circulation กล่าวคือ ผนังหลอดเลือดจะบางกว่า เส้นผ่าศูนย์กลางภายในใหญ่กว่า และมีกล้ามเนื้อเรียบน้อยกว่า โครงสร้างเหล่านี้ ทำให้ความต้านทานต่อการไหลของเลือดในระบบไหลเวียนเลือดปอดมีค่าต่ำ ประมาณ 10-15% ของความต้านทานในระบบไหลเวียนเลือดของร่างกาย และทำให้สามารถยืดขยายและหดตัว ได้มากกว่าหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย อย่างไรก็ดีคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้หลอดเลือดและความต้านทานในระบบ

ไหลเวียนเลือดในปอด ถูกกระทบโดยปัจจัยต่างๆ เช่น ความดันในหลอดเลือด ความดันในถุงลม ความดันในเยื่อหุ้มปอด แรงดึงดูดของโลก และการเปลี่ยนท่าทางของร่างกาย

## การกระจายเลือดไปยังส่วนต่างๆ ของปอด

อัตราการไหลของเลือดไปยังส่วนต่างๆ มีค่าไม่เท่ากัน โดยเลือดที่ไปยังฐานของปอด จะมากกว่าที่ไปยังส่วนยอดของปอด และความแตกต่างนี้จะหายไปเมื่อนอนราบลง หรือเมื่อให้นอนตะแคงด้านใดด้านหนึ่ง เลือดจะไปเลี้ยงด้านนั้นมากกว่า จึงสันนิษฐานได้ว่า การกระจายของเลือดที่ไม่เท่ากันนี้เป็นผลมาจากแรงดึงดูดของโลก

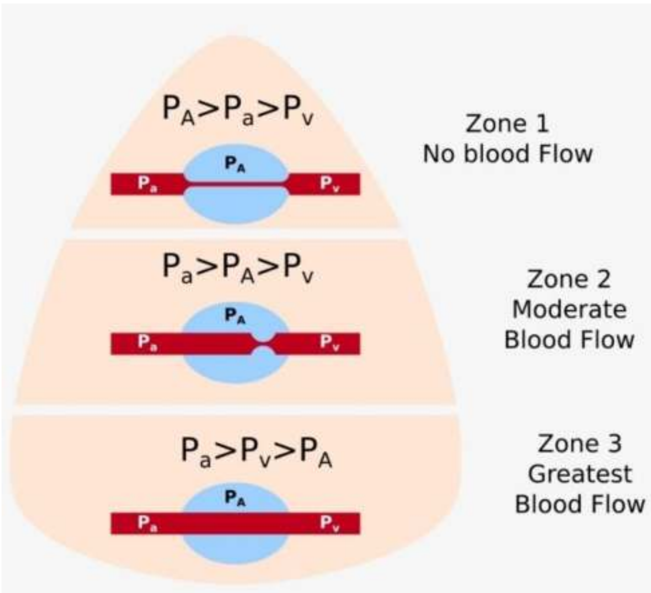
การที่เลือดจะไหลผ่านหลอดเลือดฝอยของปอดไปได้หรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ประการ คือ ความดันเลือดแดง (pulmonary artery pressure: $P_a$) ความดันเลือดดำ (pulmonary vein pressure: $P_v$) และความดันอากาศในถุงลม (alveolar pressure: $P_A$) ซึ่งอยู่รอบๆ หลอดเลือดฝอย เราอาจแบ่งปอดออกเป็น 3 บริเวณ ตามอัตราการไหลของเลือดที่ไปเลี้ยงปอด โดยขึ้นกับที่เกี่ยวข้อง 3 ประการ ดังนี้

Zone 1: $P_A > P_a > P_V$ ความดันในถุงลมมากกว่าความดันในหลอดเลือดแดง และมากกว่าความดันในหลอด เลือดดำทำให้หลอดเลือดฝอยของปอดถูกปิด พบอยู่ที่ส่วนบนๆ ของปอด

Zone 2: $P_a > P_A > P_V$ ความดันในหลอดเลือดแดงสูงกว่าความดันอากาศในถุงลม เลือดจึงสามารถไหลผ่านหลอดเลือดแดง

Zone 3: $P_a > P_V > P_A$ ทั้งความดันในหลอดเลือดแดงและความดันในหลอดเลือดดำจะสูงกว่าความดันในถุงลมปอด ทำให้หลอดเลือดแดงเปิดอยู่เสมอและเปิดตลอดความยาวของหลอดเลือดฝอย เลือดไหลผ่านอย่างต่อเนื่อง พบที่ฐานของปอด

ในภาวะปกติขณะพักจึงพบว่าเลือดจะไปถึงปอดส่วนบนเฉพาะในช่วงหัวใจบีบตัวเท่านั้น การที่ปอดได้รับเลือดเป็นช่วงๆ ทำให้อัตราการไหลของเลือดไปยังปอดโดยรวมทั้งหมด มีลักษณะขึ้นลงเป็นช่วงๆ




รูปที่ 7-20 การแบ่งปอดออกเป็น 3 ส่วน ตามอัตราการไหลของเลือดที่แตกต่างไปตามผลลัพธ์ของความดันที่เกี่ยวข้อง

## การระบายอากาศที่ปอด (Pulmonary ventilation and alveolar ventilation)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ปริมาตรอากาศในการหายใจเข้า-ออกจากร่างกาย ใน 1 นาที (minute ventilation หรือ pulmonary ventilation) จะประกอบไปด้วยอากาศที่อยู่ในระบบท่อทางเดินอากาศ (conducting zone) ซึ่งจะไม่มีการแลกเปลี่ยนแก๊ส (anatomic dead space) และอากาศอีกส่วนที่เข้าไปถึงถุงลมปอด (respiratory division) ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนแก๊สกับเลือดในระบบหลอดเลือดฝอยของปอดได้ โดยเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$V_E = V_D + V_A$$

เมื่อ $V_E$ = ปริมาตรของอากาศที่เข้าออกต่อนาที (pulmonary ventilation)

$V_D$ = ปริมาตรอากาศที่ค้างอยู่ในระบบท่อทางเดินอากาศต่อนาที (dead space ventilation)

$V_A$ = ปริมาตรอากาศส่วนที่เข้าไปถึงถุงลมปอดต่อนาที (alveolar ventilation)

ในผู้ใหญ่ปกติ ซึ่งมีปริมาตรการหายใจต่อครั้งมีค่า 0.5 ลิตร (500 มล.) และปริมาตรทางเดินอากาศมีค่า 0.15 ลิตร (150 มล.) เมื่อหายใจด้วยอัตรา 12 ครั้ง/นาที สามารถคำนวณค่า pulmonary ventilation และ alveolar ventilation ได้ ดังนี้

pulmonary ventilation = 0.5 ลิตร X 12 ครั้ง/นาที

= 6 ลิตร/นาที

alveolar ventilation = (0.5=0.15) ลิตร X 12 ครั้ง/นาที

= 4.2 ลิตร/นาที

## สัดส่วนการระบายอากาศและเลือดที่ปอด (Ventilation/Perfusion Ratio : V/Q)

การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างถุงลมปอดกับเลือดจะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถรักษาระดับความดันย่อยของแก๊สในร่างกายให้อยู่ในระดับปกติได้นั้น ถุงลมปอดจะต้องมีอากาศและเลือดเข้ามาถึงอย่างเพียงพอและเหมาะสม โดยปกติแล้วอัตราการนำอากาศเข้าออกจากถุงลมต่อนาที (alveolar ventilation: $V_A$) = จะมีค่าประมาณ 4 ลิตร/นาที และอัตราการไหลของเลือดมายังปอด (perfusion: Q) จะมีค่าประมาณ = 5 ลิตร/นาที ดังนั้น สัดส่วนการระบายอากาศและเลือดที่ปอด (ventilation/perfusion: V/Q) จะมีค่าเท่ากับ 4/5 = 0.8

โดยทั่วไปค่าปอดที่ปกติจะมีค่าระหว่าง 0.8 – 1.0 ถ้าค่ามากกว่า 1.0 จะถือว่ามีภาวะ V/Q mismatch ในลักษณะของ dead space effect และถ้าค่าน้อยกว่า 0.8 จะถือว่ามีภาวะ V/Q mismatch ในลักษณะของ shunt effect

**- Dead space effect** ได้แก่ ภาวะที่ ventilation (V) ปกติ แต่ Perfusion (Q) = 0 เช่น บริเวณช่องทางเดินหายใจส่วนบนจนกระทั่งถึงส่วนของ terminal bronchiole บริเวณที่มีอากาศผ่านเข้าออกแต่ไม่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซซึ่งโดยทั่วไปเราเรียกส่วนนี้ว่าเป็น anatomical dead space ส่วนของถุงลมปอดบางส่วนที่ในบางสภาวะไม่มีเลือดไหลใน Pulmonary capillary ซึ่งมีผลทำให้อากาศในถุงลมไม่มีขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซ ส่วนนี้เรียกว่า alveolar dead space ถ้ารวมทั้งสองส่วนนี้เรียกว่า Physiological dead space (Q=0) การระบายอากาศของถุงลมปอดไม่สัมพันธ์กับเลือดที่ไหลผ่าน ค่า V/Q มากกว่า 1.0 เช่น

=> Perfusion ลดลง - ร่างกายพร่องสารน้ำ ภาวะเสียเลือด

=> Ventilation เพิ่มขึ้น - การหายใจเร็ว และหายใจลึก การช่วยหายใจด้วยแรงดันบวกสูง ๆ

**- Shunt effect** ได้แก่ภาวะที่ Ventilation = 0 แต่ Perfusion (Q) ปกติ เช่น เลือดในหลอดเลือดดำ Bronchial จะไหลกลับสู่หัวใจด้านซ้ายโดยไม่ผ่านการแลกเปลี่ยนก๊าซเลย (anatomic shunt) หรือในบางส่วนของปอดที่มีการตีบแฟบของถุงลมปอด แต่ยังมีเลือดไหลผ่าน pulmonary capillary ทั้งสองส่วนนี้เรียกรวมกันว่า Physiologic shunt หรือภาวะโรคหัวใจแต่กำเนิดบางชนิดที่มีรูรั่วระหว่างผนังห้องหัวใจขวาและซ้าย ภาวะที่การระบายอากาศของถุงลมปอดไม่สัมพันธ์กับเลือดที่ไหลผ่านค่า V/Q น้อยกว่า 0.8 เช่น

=> Perfusion เพิ่มขึ้น - ภาวะน้ำในร่างกายเกินกว่าปกติ ภาวะหัวใจวาย (left side heart failure)

=> Ventilation ลดลง - การหายใจลดลงจากยากดการทำงานของระบบประสาท ภาวะจมน้ำภาวะมีน้ำ หรือของเหลวขังในถุงลม

***********************************

## ตอนที่ 4
## การแลกเปลี่ยนและการขนส่งแก๊ส
## (Gas exchange and Gas transport)

### กฎของแก๊ส (Gas Laws)

พฤติกรรมของแก๊สในการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างปอดกับเลือดและเลือดกับเซลล์ จะเป็นไปตามกฎต่างๆ ดังนี้

**1. Avogadro's hypothesis** ภายใต้อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน แก๊สที่มีจำนวนโมเลกุลเท่ากันจะมีความดันเท่ากัน ดังนั้น ความดันและอัตราการแพร่ของแก๊สจะมากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลของแก๊สนั้นๆ เมื่ออุณหภูมิและปริมาตรคงที่

**2. Dalton's law** ค่าความดันย่อย (Pressure gradient) ของแก๊สแต่ละชนิดในแก๊สผสม จะไม่ขึ้นอยู่กับความดันย่อยของแก๊สอื่น ๆ ในแก๊สผสมนั้น ดังนั้น ความดันรวมของแก๊สผสมจึงมีค่าเท่ากับผลรวมของความดันย่อยของแก๊สต่างๆ และแก๊สแต่ละชนิดจะแพร่อย่างอิสระด้วยอัตราความเร็วที่ขึ้นอยู่กับ pressure gradient ของแก๊สนั้น ๆ

**3. Boyle's law** เมื่อแก๊สถูกอัด ความดันของแก๊สที่เพิ่มขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาตรของแก๊สที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิคงที่ ดังนั้น การลดปริมาตรแก๊สลงจะทำให้ความดันของแก๊สสูงขึ้น และเป็นการเพิ่มอัตราความเร็วในการแพร่หรือการเคลื่อนที่ของแก๊สนั้น ๆ ให้สูงขึ้นตามไปด้วย

**4. Charles's law** ภายใต้ปริมาตรคงที่ ความดันของแก๊สจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ ดังนั้น การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้โมเลกุลของแก๊สมีการเคลื่อนที่มากขึ้น นั่นคือทำให้ความดันและอัตราการแพร่ของแก๊สสูงขึ้น

**5. Henry's law** การละลายของแก๊สในของเหลว จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันของแก๊สนั้นที่กระทำต่อของเหลว ดังนั้น การละลายของแก๊สในของเหลวจะมากขึ้นถ้าความดันย่อยของแก๊สนั้น ๆ สูงขึ้นที่ air-liquid interface

### อากาศในบรรยากาศ (atmospheric air)

อากาศที่มนุษย์ใช้หายใจ ก็คือ อากาศที่ล้อมรอบตัวเราหรืออากาศในบรรยากาศ ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สไนโตรเจน (4/5 ส่วน) และส่วนน้อย (1/5 ส่วน) เป็น $O_2$ ส่วน $CO_2$ มีความเข้มข้นต่ำมาก องค์ประกอบโดยละเอียดของอากาศในบรรยากาศ ดังตาราง

ตารางที่ 7-1 แสดงองค์ประกอบและสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของอากาศ ที่บรรยากาศผิวโลก

| แก๊ส | เปอร์เซ็นต์ในอากาศ |
|---|---|
| - ไนโตรเจน | 78.09 |
| - ออกซิเจน | 20.94 |
| - คาร์บอนไดออกไซด์ | 0.03 |
| - แก๊สอื่นๆ | 0.95 |

ความเข้มข้นของแก๊สต่างๆ ในร่างกายนิยมคิดในรูปของความดันย่อย (partial pressure, $P_x$) มีหน่วยเป็น มม.ปรอท ค่าความดันย่อยหาได้จากผลคูณของเปอร์เซ็นต์หรือเศษส่วน (fraction, F) ของแก๊สนั้นๆ ในแก๊สผสมกับความดันรวมของแก๊สผสม ($P_{total}$) ดังสมการ

$$P_x = P_{total} \times F$$

ที่ระดับน้ำทะเล มีความดันเท่ากับ 1 บรรยากาศ หรือ 760 มม.ปรอท หากคำนวณเป็นความดันย่อย (partial pressure) ของแก๊สแต่ละชนิด จะเป็นดังนี้

- P $N_2$ = 592.8 มม.ปรอท
- P $O_2$ = 159.6 มม.ปรอท
- P Ar = 7.068 มม.ปรอท
- P $CO_2$ = 0.228 มม.ปรอท

ในอากาศที่เราหายใจเข้าไป มีไอน้ำปะปนอยู่ด้วย ดังนั้น หากต้องการคำนวนหาค่าความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดในแก๊สผสม จึงต้องหักค่าความดันไอน้ำออกก่อน โดยทั่วไปความดันไอน้ำจะมีค่าตามอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ภายในร่างกายของเราซึ่งอิ่มตัวด้วยไอน้ำและมีอุณหภูมิประมาณ 37 C ความดันไอน้ำมีค่า 47 มม.ปรอท

**อากาศในถุงลมปอด (alveolar air)**

$O_2$ ในถุงลม จะแพร่ออกไปสู่เลือด และ $CO_2$ จากเลือดจะแพร่เข้าสู่ถุงลมตลอดเวลา เมื่อหายใจเข้า อากาศใหม่จากบรรยากาศที่เข้าสู่ถุงลม จะเข้ามาผสมกับอากาศเก่าในถุงลม ที่เหลือค้างจากการหายใจออกครั้งก่อน $O_2$ ในอากาศใหม่จะเข้าแทนที่ $O_2$ ในถุงลม ที่แพร่ออกไปสู่เลือด และ $CO_2$ ที่แพร่ออกจากเลือดเข้ามาอยู่ในถุงลม จะถูกเจือจางลง จากนั้นบางส่วนของอากาศผสมในถุงลมนี้ จะถูกหายใจออกไป ปริมาณ $O_2$ ในถุงลมจะลดลง และ $CO_2$ จะสูงขึ้น จนกว่าจะมีอากาศใหม่จากการหายใจเข้ามาถึง

อย่างไรก็ตาม ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้า-ออกถุงลมและครั้งนั้น มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาตรอากาศเดิมที่มีอยู่ในถุงลม จึงทำให้ $Po_2$ และ $Pco_2$ ของอากาศในถุงลมเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ โดยความดันย่อยของ $O_2$ ในถุงลม มีค่าประมาณ 100 มล.ปรอท และความดันย่อยของ $CO_2$ ในถุงลม มีค่าประมาณ 40 มล.ปรอท

**เนื้อเยื่อผนังถุงลมและหลอดเลือด (Alveolo-capillary membrane)**

การที่การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างปอดกับเลือด จะเกิดขึ้นได้ต้องมีการแพร่ผ่าน alveolo-capillary membrane หรือเรียกอีกอย่างว่า Respiratory membrane ซึ่งประกอบด้วย 4 ชั้น คือ

1. Alveolar epithelium membrane หรือเซลล์เยื่อบุผนังถุงลมซึ่งหนาประมาณ 0.05 - 0.3 ไมครอน
2. Basement membrane ของผนังถุงลมและผนังหลอดเลือดฝอย ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.02 - 0.2 ไมครอน
3. Interstitial fluid layer เป็นชั้นของเหลวระหว่างเซลล์ ที่แทรกตัวอยู่ระหว่างผนังถุงลมและผนังหลอดเลือดฝอย
4. Capillary endothelium membrane หรือเซลล์ผนังหลอดเลือดฝอย มีความหนาประมาณ 0.04 - 0.2 ไมครอน

ซึ่งความหนาทั้ง 4 ชั้นรวมกันแล้วจะมีความหนาไม่เกิน 0.7 ไมครอน และมีพื้นที่รวมทั้งหมดมากถึง 70 - 90 ตรม. alveolo-capillary membrane จึงเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมมากสำหรับการแลกเปลี่ยนแก๊สได้อย่างรวดเร็ว

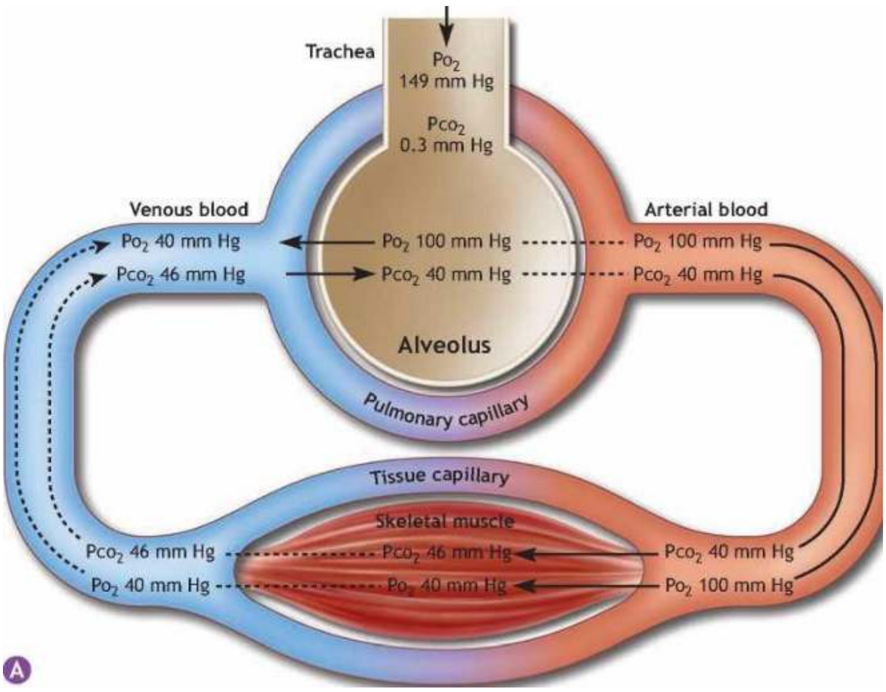
## การแลกเปลี่ยนแก๊ส (Gas exchange)

ที่เรียกว่า เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดขึ้น เนื่องจากที่บริเวณถุงลมปอด และบริเวณหลอดเลือดฝอยของเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย จะมีการแพร่ของ $O_2$ และ $CO_2$ ผ่าน membrane ไปในทิศทางตรงข้าม ตามลาดความดันของแก๊สแต่ละชนิดอย่างรวดเร็ว

**1. การแพร่ของแก๊ส $O_2$**

**1) ที่ถุงลมปอด** $O_2$ จะแพร่จากถุงลมปอด ซึ่งมีค่า alveolar $Po_2$ ประมาณ 100 มม.ปรอท ไปยังเส้นเลือดฝอยของปอดซึ่งมีค่า venous $Po_2$ ประมาณ 40 มม.ปรอท อย่างรวดเร็ว เข้าไปจับกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงจนถึงจุดสมดุลของการแพร่ คือ มีความดันย่อยของ $O_2$ ในเลือด ประมาณ 97 - 100 มม.ปรอท โดยใช้เวลา 0.25 วินาทีเท่านั้น (จากในภาวะปกติเลือด จะอยู่ในเส้นเลือดฝอยของปอดนานประมาณ 0.75 วินาที) สำหรับการออกกำลังกายอย่างหนัก อัตราการไหลของเลือดผ่านปอดจะเพิ่มสูงมากขึ้น ทำให้เวลาที่เลือดใช้ในการผ่านหลอดเลือดฝอยของปอดลดลงจาก 0.75 วินาที เหลือเพียง 0.25 วินาที แต่ในคนปกติเวลาที่เหลือนี้ก็ยังเพียงพอในการแลกเปลี่ยนแก๊สที่สมบูรณ์

**2) ที่เนื้อเยื่อ** : เนื่องจากเซลล์ใช้ $O_2$ ไปตลอดเวลาในกระบวนการเมตาบอลิซึม ดังนั้นความดันย่อยของ $O_2$ ในเซลล์จึงต่ำ ดังนั้น $O_2$ จึงแพร่ตามความแตกต่างของความดัน (pressure gradient) จากเลือด ($Po_2$ = 95 มม.ปรอท) ผ่านผนังหลอดเลือดฝอยเข้าสู่เซลล์




รูปที่ 7-21 แสดงการแลกเปลี่ยนแก๊สที่ถุงลมและเนื้อเยื่อ

**2. การแพร่ของ $CO_2$**

**1) ที่ถุงลมปอด** เลือดดำที่มายังปอด มี $CO_2$ สูง (venous $Pco_2$ = 46 มม.ปรอท) และอยู่ในรูปแบบต่างๆ กัน ได้แก่

=> จับกับฮีโมโกลบิน เรียกว่า carbamino hemoglobin ($Hb.CO_2$)

=> อยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ($HCO_3^-$) ซึ่งเกิดจากกระบวนการภายในเซลล์ของเม็ดเลือดแดง แล้วแพร่ออกมาในน้ำเลือด

=> ละลายอยู่ในน้ำเลือด ในรูปของ dissolved $CO_2$

$Hb.CO_2$ เมื่อมาถึงหลอดเลือดฝอยของปอด ฮีโมโกลบินจะปล่อย $CO_2$ เพื่อจับกับ $O_2$ ซึ่งแพร่ออกมาจากถุงลมปอด สำหรับ $CO_2$ ที่ละลายในเลือด จะแพร่อย่างรวดเร็วตาม pressure gradient เข้าสู่ถุงลมปอดได้ทันที ส่วน $HCO_3^-$ จะรวมตัวกับ $H^+$ ในเม็ดเลือดแดงและในพลาสมา ได้เป็นกรดคาร์บอนิค (carbonic acid) ก่อน แล้วจึงแตกตัวเป็น $CO_2$ และ $H_2O$ โดยมีเอ็นไซม์ carbonic anhydrase ในเม็ดเลือดแดง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเปลี่ยนกรดคาร์บอนิค เป็น $CO_2$ แล้วขับออกจากร่างกาย เป็นกลไกอย่างหนึ่งที่ช่วยควบคุมสมดุลกรด-ด่างในร่างกาย

**2) ที่เนื้อเยื่อ** $CO_2$ ที่ถูกสร้างตลอดเวลาจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ทำให้เซลล์มี $Pco_2$ สูง ($Pco_2$ = 46-50 มม.ปรอท) $CO_2$ จากเซลล์จึงแพร่เข้าสู่หลอดเลือดซึ่งมี $Pco_2$ ที่ต่ำกว่า ($Pco_2$ = 40 มม.ปรอท)

## การขนส่งแก๊ส (Gas transport)

**การขนส่ง $O_2$** ประกอบด้วย 2 วิธี ดังนี้

**1) การละลายในพลาสมา (Dissolved)** เกิดขึ้นเพียง 0.3% ของการขนส่ง $O_2$ ทั้งหมด เพราะ $O_2$ มีความสามารถในการละลายในพลาสมาได้น้อยมาก วิธีนี้วิธีเดียวไม่เพียงพอกับความต้องการ $O_2$ ของเซลล์ทั่วร่างกาย

**2) จับกับ Hemoglobin** ในรูป Oxyhemoglobin ($HbO_2$) การขนส่ง $O_2$ ส่วนใหญ่ 99% ขนส่งด้วยวิธีนี้ โดยในเลือด 100 มล. มี Hb อยู่ 15 กรัม และ Hb 1 กรัม สามารถจับกับ $O_2$ ได้ประมาณ 1.34 มล. ดังนั้นหาก Hb ทั้งหมด ในเลือดจับกับ $O_2$ ได้เต็มที่ (เรียกว่า 100% saturation) เลือด 100 มล. จึงสามารถขนส่ง ได้ 20.01 มล. (1.34 x 15)

hemoglobin 1 โมเลกุล ประกอบด้วย heme 4 โมเลกุล และแต่ละ heme จะมีเหล็ก 1 อะตอม ซึ่งสามารถจับกับ $O_2$ ได้ 1 โมเลกุล เรียก Hb ที่จับกับ $O_2$ แล้วว่า **oxyhemoglobin**

ปฏิกิริยาในการเข้าของ Hb กับ $O_2$ จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ภายในเวลาไม่ถึง 0.01 วินาที และปฏิกิริยาการปล่อย $O_2$ ก็เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามการจับหรือปล่อย $O_2$ ของ heme ทั้ง 4 โมเลกุล เกิดขึ้นไม่พร้อมกัน และด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน กล่าวคือ หลังจาก $O_2$ โมเลกุลแรกเข้าจับกับ heme ตัวแรกแล้ว จะมีผลให้ความสามารถในการจับ $O_2$ ของ Heme ตัวที่ 2, 3, 4 มีมากขึ้นเรื่อยๆ เรียกกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Po_2$ กับ % saturation ของ Hb นี้ว่า **Hb-$O_2$ dissociation curve**

**ปัจจัยที่มีผลต่อการจับ $O_2$ ของ Hemoglobin**

มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อ Hb-$O_2$ dissociation curve โดยหากทำให้ curve เลื่อนไปทางขวา แสดงว่า ที่ค่า $Po_2$ เท่ากัน % $O_2$ saturation ของ $HbO_2$ จะต่ำลง หรืออาจกล่าวได้ว่า ปัจจัยนั้น ๆ ทำให้ Hb จับกับ $O_2$ ลดลง หรือทำให้ $HbO_2$ ปล่อย $O_2$ ได้มากขึ้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ Hb-$O_2$ dissociation curve ได้แก่

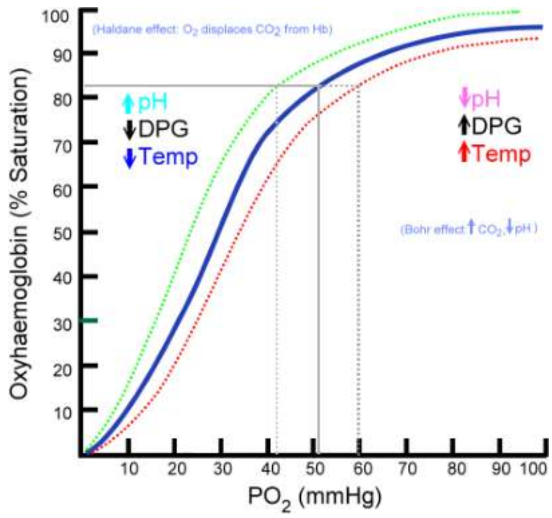
**1. $H^+$ หรือ pH** ถ้าเลือดมีความเป็นกรดมากขึ้น (pH ลดลง) ความสามารถในการจับ $O_2$ จะลดลง หรือเรียกว่า Bohr effect เพื่อเป็นการปล่อย $O_2$ ให้แก่เนื้อเยื่อมากขึ้น curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางขวา ในทาง

ตรงกันข้ามถ้าเลือดมีความเป็นด่าง (pH เพิ่มขึ้น) ความสามารถในการจับ $O_2$ จะมากขึ้น curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางซ้าย

**2. $CO_2$** การที่เนื้อเยื่อที่กำลังทำงาน ปล่อย $CO_2$ ออกมา และมีผลลด pH ของเลือด จะทำให้ curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางขวา นอกจากนี้ $CO_2$ ยังเข้าจับกับโมเลกุลของ Hb เกิดเป็นสารประกอบ Carbaminohemoglobin ทำให้ curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางขวาด้วยเช่นกัน

**3. อุณหภูมิ** การเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลให้ $HbO_2$ ปล่อย $O_2$ ออก ทำให้ curve ของกราฟเคลื่อนไปทางขวา ในทางตรงกันข้ามการลดอุณหภูมิจะส่งผลให้การจับ $O_2$ ได้มากขึ้น curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางซ้าย

**4. 2,3 Diphosphoglycerate (2,3 DGP)** ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นในขบวนการ glycolysis ของเม็ดเลือดแดง 2,3 DGP จะเข้าจับกับ globin ของ $HbO_2$ ที่ปล่อย $O_2$ แล้ว ดังนั้นเมื่อเม็ดเลือดแดงมี 2,3 DGP มากขึ้น $HbO_2$ จะปล่อย $O_2$ มากขึ้น curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางขวา ดังนั้นปัจจัยใดก็ตาม ที่ทำให้ร่างกายเกิด glycolysis มาก ก็จะทำให้มี 2,3 DGP มาก เช่น การออกกำลังกาย การขึ้นไปอยู่บนที่สูง และภาวะที่ขาดออกซิเจนเป็นเวลานาน




รูปที่ 7-22 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการจับของ Hemoglobin กับ Oxygen

**การขนส่ง $CO_2$**

การขนส่ง $CO_2$ จากเนื้อเยื่อไปยังปอด มี 3 วิธี ดังนี้

**1) ในรูปของไบคาร์บอเนต ($HCO_3^-$)** การขนส่งโดยวิธีนี้เกิดขึ้นมากที่สุดถึง 85% ของการขนส่งทั้งหมดประมาณ 85% (ขนส่งไปกับเม็ดเลือดแดง 20%, ขนส่งไปกับน้ำเลือด 65%) โดยที่ปฏิกิริยาการเกิดไบคาร์บอเนตส่วนใหญ่จะเกิดภายในเซลล์เม็ดเลือดแดง

$CO_2$ จะรวมตัวกับน้ำ ซึ่งปฏิกิริยานี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่เม็ดเลือดแดงโดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์คาร์บอนิคแอนไฮเดรท ได้เป็นกรดคาร์บอนิค ต่อมาจะแตกตัวเป็นไบคาร์บอเนต และไฮโดรเจนไอออน จากนั้นไบคาร์บอเนตจะแพร่ออกจากเม็ดเลือดแดงเข้าสู่พลาสมา ในขณะที่คลอไรด์จากพลาสมาก็จะแพร่เข้าสู่เม็ดเลือดแดงแทนเพื่อรักษาสมดุลทางศักย์ไฟฟ้าไว้

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 \longrightarrow HCO_3^- + H^+$$

**2) ละลายในพลาสมา (Dissolved)** เนื่องจาก $CO_2$ มีความสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่า $O_2$ ถึง 20 เท่า การขนส่งด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นประมาณ 10% (5% ละลายในน้ำในเม็ดเลือดแดง และอีก 5% ละลายในพลาสมาในหลอดเลือด) ของการขนส่งทั้งหมด

**3) ในรูปของสารประกอบคาร์บามิโนฮีโมโกลบิน (carbamino Hb)** โดย $CO_2$ จับกับ Hb ในเม็ดเลือดแดง) วิธีเกิดขึ้นประมาณ 5% ของการขนส่ง $CO_2$

***********************************

# ตอนที่ 5
# การควบคุมการหายใจ (Control of Respiration)

ขณะพัก การหายใจจะเกิดขึ้นเป็นจังหวะสม่ำเสมอในอัตราประมาณ 12 ครั้ง/นาที โดยจะใช้เวลาในการหายใจเข้าประมาณ 2 วินาที ตามด้วยการหายใจออกเป็นเวลา 3 วินาที สลับกันไปเช่นนี้เรื่อย ๆ ทำให้ร่างกายได้รับ $O_2$ เข้าสู่ร่างกายและขับ $CO_2$ ออกจากร่างกาย ได้คงที่ในระดับหนึ่ง แต่เมื่อร่างกายมีความต้องการได้รับ $O_2$ และขับ $CO_2$ เปลี่ยนแปลงไป เช่น ขณะออกกำลังกาย หรือขณะหลับ อัตราและความลึกของการหายใจก็สามารถเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของร่างกายในขณะนั้นๆ เนื่องจากร่างกายของเรามีระบบในการควบคุมการหายใจที่มีประสิทธิภาพ 2 ระบบ คือ การควบคุมโดยระบบประสาท และการควบคุมทางเคมี

## การควบคุมโดยระบบประสาท (Neural Control)

การควบคุมโดยระบบประสาท มี 2 ส่วน คือ

**1) การควบคุมแบบอัตโนมัติ (autonomic control)** โดยสมองส่วนพอนด์และเมดัลลา เป็นตัวสร้างและส่งสัญญาณไปกระตุ้นกล้ามเนื้อหายใจ ทำให้เกิดการหายใจเข้า – ออกอย่างเป็นจังหวะและสม่ำเสมอทั้งในขณะหลับและตื่น

**2) การควบคุมภายใต้อำนาจจิตใจ (voluntary control)** โดยสมองส่วน cerebral cortex, hypothalamus และ cerebellum ซึ่งจะทำให้เราสามารถควบคุม บังคับ หรือปรับการหายใจให้เหมาะสมกับพฤติกรรมต่างๆ ของร่างกาย เช่น การพูด การร้องเพลง การดำน้ำ หรือการกลั้นหายใจได้ เป็นต้น หรือสามารถทำให้การหายใจเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะร่างกาย เช่น ขณะออกกำลังกาย ขณะโกรธ ขณะตื่นเต้น เป็นต้น

## ศูนย์หายใจ (Respiratory center)

ศูนย์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการหายใจในสมอง ประกอบด้วยเซลล์ประสาทจำนวนมากรวมกันเป็นกลุ่มๆ แบ่งได้เป็น 3 ศูนย์สำคัญ คือ

**1. ศูนย์หายใจในเมดัลลา (Medullary respiratory center)** เซลล์ประสาทที่ศูนย์นี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

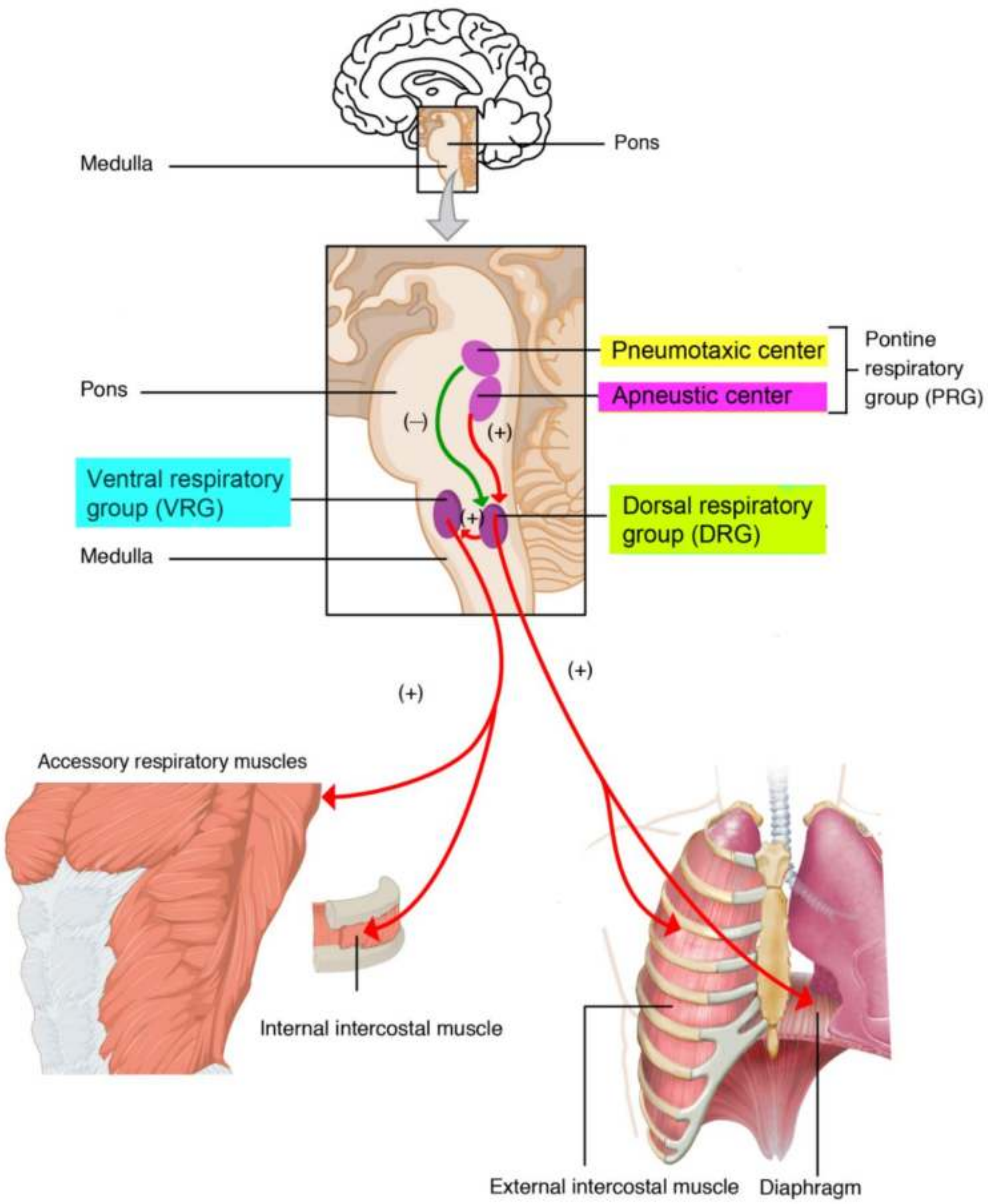
**1.1 กลุ่มที่อยู่ด้านหลัง (Dorsal respiratory group, DRG)** หรือเรียกว่า ศูนย์หายใจเข้า (inspiratory center) ศูนย์นี้สามารถสร้างกระแสประสาทขึ้นมาเอง เป็นจังหวะสัญญาณประสาทนี้จะส่งไปกระตุ้นกล้ามเนื้อหายใจเข้า คือกระบังลม (diaphragm) และกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงด้านนอก (external intercostal muscle) โดยผ่านทางเส้นประสาท phrenic nerve และ intercostal nerve ตามลำดับ สัญญาณประสาทที่กระตุ้นให้เกิดการหายใจเข้านี้ จะเริ่มเกิดเป็นสัญญาณอ่อนๆ ก่อน แล้วจึงแรงขึ้นเรื่อยๆ เป็นเวลาประมาณ 2 วินาที จึงสิ้นสุด เมื่อสัญญาณกระตุ้นหมดกล้ามเนื้อหายใจทั้ง 2 ชุด จะคลายตัวออกเกิดเป็นการหายใจออก ซึ่งเป็น passive process เป็นระยะเวลา 3 วินาที จากนั้นสัญญาณจาก DRG ก็จะเริ่มเกิดขึ้นใหม่ เป็นวงจรต่อไป

**1.2 กลุ่มที่อยู่ด้านหน้า (Ventral respiratory group, VRG)** หรือเรียกว่า ศูนย์หายใจออก (expiratory center) เซลล์ประสาทกลุ่มนี้จะไม่ทำงานเลย เมื่อหายใจเข้าออกปกติ ต่อเมื่อร่างกายมีความต้องการการหายใจเพิ่มมากขึ้น เช่น ขณะออกกำลังกาย สัญญาณกระตุ้นหายใจเข้าจาก DRG ซึ่งมีสัญญาณแรงมากขึ้น จะเป็นตัวกระตุ้น VRG ให้ทำงาน โดยเฉพาะในช่วงหายใจออก โดยจะส่งสัญญาณประสาทไปกระตุ้นกล้ามเนื้อระหว่างช่อง

กระดูกซี่โครงด้านใน (internal intercostal muscle) และกล้ามเนื้อหน้าท้อง (rectus abdominis) ให้หดตัว ช่วยดันอากาศออกได้มากกว่าปกติ

**2. ศูนย์แอปนูสติก (Apneustic center)** อยู่บริเวณส่วนล่างของสมองส่วน pons ศูนย์นี้จะส่งกระแสประสาทไปกระตุ้น DRG ทำให้ช่วงเวลาการหายใจเข้ายาวนานขึ้น หรือทำให้เกิดการหายใจเข้าตลอดเวลาจนกว่าจะมีกระแสประสาทมายับยั้ง

**3. ศูนย์นูโมแทกซิก (Pneumotaxic center)** อยู่ที่บริเวณส่วนบนของสมองส่วน pons มีบทบาทในการควบคุมอัตรา และปริมาตรการหายใจ โดยจะส่งสัญญาณประสาทไปยับยั้ง DRG ทำให้การหายใจเข้าสั้นลง อัตราการหายใจจึงเพิ่มมากขึ้น




รูปที่ 7-23 แสดงศูนย์หายใจ (Respiratory center)

## การควบคุมทางเคมี (Chemical control)

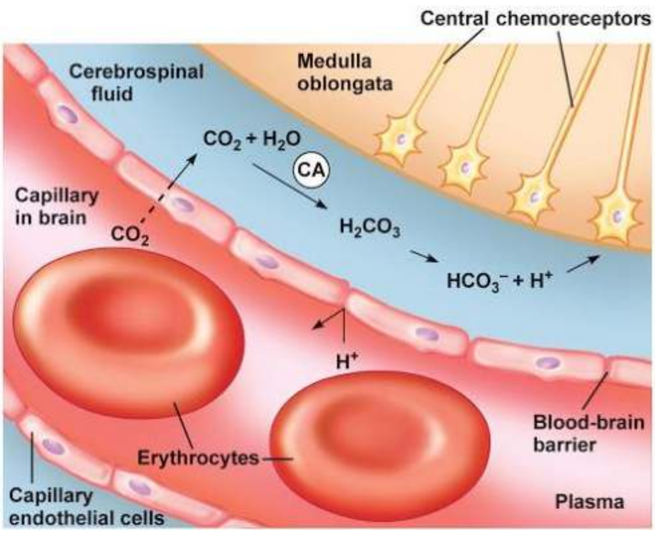
การควบคุมทางเคมี เป็นการควบคุมให้การหายใจมีอัตราและความลึกเหมาะสมกับความต้องการของร่างกายในขณะต่างๆ เราทราบกันดีอยู่แล้วว่าจุดประสงค์หลักของการหายใจ คือ เพื่อรักษาระดับ $O_2$ ในเลือดให้คงที่ในระดับสูง ($Po_2$ = 100 มม.ปรอท) และรักษาระดับของ $CO_2$ ในเลือดให้คงที่ในระดับต่ำ ($CO_2$ = 40 มม.ปรอท) ดังนั้นระดับของสารเคมีทั้ง 2 นี้ในเลือด รวมทั้งระดับ $H^+$ ซึ่งเป็นผลมาจาก $P_{CO2}$ จึงสามารถทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมทั้งกระตุ้นและยับยั้ง การทำงานของระบบหายใจได้ด้วย ในร่างกายของเราจะมีตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงของระดับสารเคมี (Chemoreceptor) ดังกล่าว แล้วส่งสัญญาณประสาทไปยังศูนย์หายใจในเมดัลลา เพื่อปรับอัตราและความลึกของการหายใจ ตัวรับรู้ chemoreceptor แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

**1. Central chemoreceptor (Chemosensitive area)** เป็นกลุ่มประสาทในสมองส่วนเมดัลลา central chemoreceptor นี้จะมีความไวหรือสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของ $H^+$ ในของเหลวที่อยู่โดยรอบ ซึ่งความเข้มข้นของ $H^+$ ในบริเวณดังกล่าว ก็ขึ้นอยู่กับ $H^+$ และ $P_{CO2}$ ในน้ำไขสันหลัง, $P_{CO2}$ ในเลือดที่มาเลี้ยงสมอง และขึ้นกับเมตาบอลิซึมของเซลล์สมองเอง

เนื่องจาก blood brain barrier (BBB) ซึ่งเป็นตัวกั้นระหว่างน้ำไขสันหลังกับเลือด ไม่ยอมให้ $H^+$ ผ่าน แต่ยอมให้ $CO_2$ ผ่านได้สะดวก ดังนั้นเมื่อ $P_{CO2}$ ในเลือดสูงขึ้น $CO_2$ จึงแพร่จากเลือดเข้ามายังน้ำไขสันหลัง แล้วทำปฏิกริยากับน้ำ เกิดเป็น $H^+$ ดังสมการ

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_2 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

$H^+$ เป็นตัวกระตุ้นโดยตรงต่อ central chemoreceptor แต่การเพิ่มของ $H^+$ ในของเหลวรอบ central chemoreceptor และในน้ำไขสันหลังนั้น เป็นผลทางอ้อมมาจากการเพิ่มขึ้นของ $P_{CO2}$ ในเลือด ดังนั้น ระดับของ $P_{CO2}$ ในเลือด จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมหรือปรับการหายใจให้เหมาะสม โดยเมื่อ $P_{CO2}$ สูงมากกว่า 40 มม.ปรอท จะกระตุ้นให้เกิดการหายใจมากขึ้น และเมื่อมีการหายใจเพิ่มขึ้น $P_{CO2}$ ในเลือดและในน้ำไขสันหลัง จะค่อยๆ ลดลงสู่ระดับปกติ



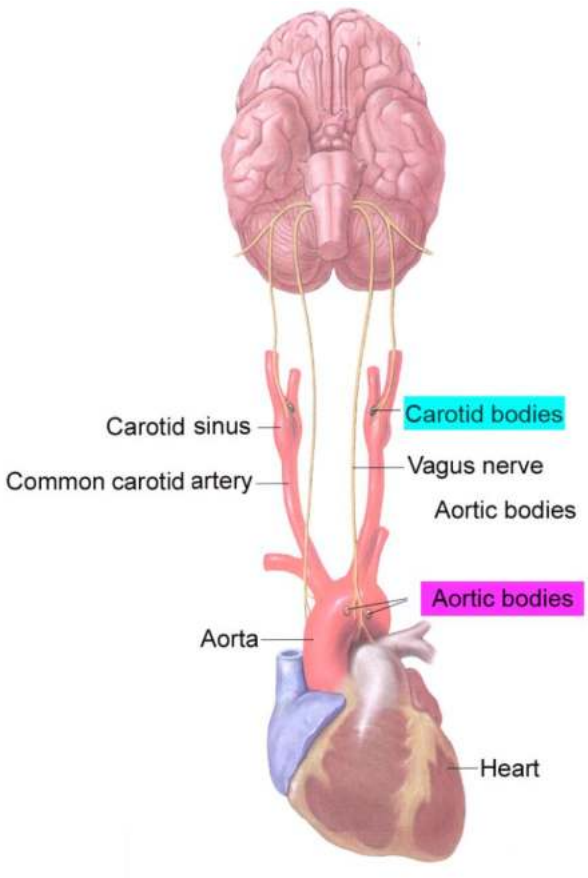

รูปที่ 7-24 แสดงการกระตุ้นโดยตรงต่อ central chemoreceptor โดย $H^+$

**2. Peripheral Chemoreceptor** เป็นตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงของสารเคมีในเลือด ได้แก่

**1) carotid bodies** ตั้งอยู่บริเวณส่วนแยกของหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงสมอง (common carotid artery) ข้างซ้ายและขวา

**2) aortic bodies** ตั้งอยู่บริเวณหลอดเลือดแดงใหญ่ที่ออกจากหัวใจ (aortic arch)

จะเห็นได้ว่า peripheral chemoreceptor ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สามารถตรวจสอบระดับสารเคมี คือ $Po_2$, $H^+$ และ $Pco_2$ ในเลือดแดงของร่างกายได้อย่างเหมาะสม peripheral chemoreceptor จะถูกกระตุ้นเมื่ออัตราการไหลของเลือดลดลงอย่างมาก เช่น ในภาวะช็อค หรือเมื่อระดับ $Po_2$ ในเลือดลดลงอย่างมาก รวมทั้ง ตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของ $H^+$ และ $Pco_2$ ในเลือดด้วย โดย carotid bodies จะส่งสัญญาณประสาทผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 และ aortic bodies จะส่งสัญญาณประสาทผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ไปกระตุ้นศูนย์การหายใจในเมดัลลา ทำให้เกิดการหายใจมากขึ้น




รูปที่ 7-25 แสดง carotid bodies และ aortic bodies

โดยสรุป จะเห็นว่า การควบคุมการหายใจของร่างกายในขณะหนึ่งๆ เป็นเรื่องที่ซับซ้อนมากและอาศัยการทำงานของหลายระบบ ศูนย์การหายใจในสมองส่วนเมดัลลา ทำหน้าที่คล้ายเป็น pace maker ของระบบหายใจ คือ เป็นตัวเริ่มส่งสัญญาณประสาทออกไปเพื่อกระตุ้นกล้ามเนื้อหายใจให้เกิดการหายใจเข้าออกอย่างต่อเนื่องกัน ศูนย์ควบคุมการหายใจในพอนด์ เป็นตัวควบคุมอัตรา และความลึกของการหายใจให้สม่ำเสมอ เร็ว หรือช้าตามความเหมาะสม ส่วนสารเคมีสำคัญในเลือด ได้แก่ $Pco_2$, $H^+$ และ $Po_2$ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราและความลึกการหายใจ ตามการทำงานของเซลล์ในร่างกาย และตามสภาพแวดล้อมภายนอกร่างกายนั้น จะเป็นตัวปรับการหายใจผ่านทาง central และ peripheral chemoreceptor ซึ่งจะส่งสัญญาณไปปรับแต่งการทำงานของศูนย์หายใจในสมองอีกต่อหนึ่ง โดยเมื่อ $Pco_2$ ในเลือดสูงขึ้น $CO_2$ จะผ่าน BBB เข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำใน CSF ของเซลล์สมอง ทำ

ให้เกิด $H^+$ มากขึ้น และมีผลกระตุ้นการหายใจผ่าน central chemoreceptor เป็นส่วนใหญ่ ส่วนการเพิ่มของ $H^+$ ในเลือดไม่มีผลต่อ central chemoreceptor เพราะ $H^+$ ผ่าน BBB ไม่ได้ แต่การลด pH ของเลือด จะมีผลกระตุ้นการหายใจโดยผ่าน peripheral chemoreceptor เช่นเดียวกับการลดลงของ $Po_2$ ในเลือด

การหายใจนอกจะถูกควบคุมโดยศูนย์หายใจในสมองสมองและระดับสารเคมีสำคัญทั้ง 3 ชนิด ในเลือดแล้ว cerebral cortex และปัจจัยอื่นๆ ยังอาจมีอิทธิพลต่อการหายใจในบางขณะด้วย

***********************************

เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

--------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบไหลเวียน
(Anatomy and Physiology of Circulatory system)

**จำนวน** 8 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบไหลเวียน
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติด้านการฉุกเฉินการแพทย์
3. สามารถนำความรู้ไปใช้ในการปฏิบัติงานด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกหน้าที่หลักของระบบไหลเวียนเลือดได้อย่างถูกต้อง
2. บอกคุณลักษณะของเลือดได้อย่างถูกต้อง
3. บอกองค์ประกอบของเลือดได้อย่างถูกต้อง
4. ชื่อบอกและหน้าที่ของโปรตีนในพลาสมาในเลือดได้อย่างถูกต้อง
5. บอกชนิดของเม็ดเลือดในเลือดได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายความหมายของฮีมาโตคริตได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายการสร้างเม็ดเลือดแดงได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายการทำลายเม็ดเลือดแดงได้อย่างถูกต้อง
9. บอกชนิดและจำนวนของเม็ดเลือดขาวได้อย่างถูกต้อง
10. บอกหน้าที่ของเม็ดเลือดขาวได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายคุณลักษณะที่สำคัญของเม็ดเลือดขาวได้อย่างถูกต้อง
12. อธิบายกลไกการห้ามเลือดได้อย่างถูกต้อง
13. อธิบายชนิดของหมู่เลือดได้อย่างถูกต้อง
14. บอกขนาดและตำแหน่งของหัวใจได้อย่างถูกต้อง
15. บอกชื่อเยื่อหุ้มหัวใจได้อย่างถูกต้อง
16. บอกชื่อผนังหัวใจได้อย่างถูกต้อง
17. บอกชื่อห้องหัวใจได้อย่างถูกต้อง
18. บอกชื่อลิ้นหัวใจได้อย่างถูกต้อง
19. บอกชื่อหลอดเลือดที่เลี้ยงหัวใจได้อย่างถูกต้อง
20. อธิบายคุณสมบัติของกล้ามเนื้อหัวใจได้อย่างถูกต้อง
21. อธิบายเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจได้ถูกต้องได้อย่างถูกต้อง
22. อธิบายลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจได้อย่างถูกต้อง

23. อธิบายลักษณะของคลื่นไฟฟ้าหัวใจได้อย่างถูกต้อง
24. ลำดับเหตุการณ์ใน Cardiac cycle ได้อย่างถูกต้อง
25. เปรียบเทียบเสียงที่เกิดจากการทำงานของหัวใจได้อย่างถูกต้อง
26. บอกปริมาณเลือดที่ถูกบีบออกจากหัวใจได้อย่างถูกต้อง
27. อธิบายวิธีการควบคุมการทำงานของหัวใจได้อย่างถูกต้อง
28. บอกชื่อหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
29. บอกชื่อหลอดเลือดดำที่ไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
30. อธิบายความดันเลือดแดง หลอดเลือดดำ หลอดเลือดฝอยได้อย่างถูกต้อง
31. บอกชื่อศูนย์ควบคุมของระบบไหลเวียนเลือดได้อย่างถูกต้อง
32. บอกชื่อกลไกการควบคุมของระบบไหลเวียนเลือดได้อย่างถูกต้อง
33. บอกสาเหตุการไหลเวียนเลือดล้มเหลวได้อย่างถูกต้อง
34. อธิบายระยะของช็อกจากระบบไหลเวียนได้อย่างถูกต้อง
35. อธิบายผลของช็อกต่อร่างกายได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจตคติในการเรียนการสอน

# 8

**************************************

# ระบบไหลเวียน

# (Anatomy and Physiology of Circulation system)

**ตอนที่ 1 เลือด**

1.1 พลาสมา

1.2 เม็ดเลือด

1.2.1 เม็ดเลือดแดง

1.2.1.1 รูปร่างและขนาด

1.2.1.2 หน้าที่

1.2.1.3 ปริมาณ

1.2.1.4 การสร้างเม็ดเลือดแดง

1.2.1.5 การทำลายเม็ดเลือดแดง

1.2.2 เม็ดเลือดขาว

1.2.2.1 Granulocyte เป็นพวกที่มีแกรนูล

1.2.2.2 Agranulocyte พวกที่ไม่มีแกรนูล

1.2.3 เกร็ดเลือด

1.3 หมู่เลือด

**ตอนที่ 2 หัวใจ**

2.1 โครงสร้างและหน้าที่ของหัวใจ

2.1.1 ขนาดและตำแหน่งของหัวใจ

2.1.2 เยื่อหุ้มหัวใจ

2.1.3 ผนังหัวใจ

2.1.4 ห้องหัวใจ

2.1.5 ลิ้นหัวใจ

2.1.6 การไหลเวียนเลือดผ่านหัวใจ

2.1.7 หลอดเลือดของหัวใจ

2.1.8 เส้นประสาทที่มาเลี้ยงหัวใจ

2.1.9 คุณสมบัติของกล้ามเนื้อหัวใจ

2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวใจ

2.2.1 เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

2.2.2 ลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

2.2.3 การนำไฟฟ้าหัวใจ

2.2.4 ระยะพักของกล้ามเนื้อหัวใจ
2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อความถี่ action potential ของ nodal cells
2.3 คลื่นไฟฟ้าหัวใจ
2.4 วงจรการทำงานของหัวใจ
2.4.1 ลำดับเหตุการณ์ใน Cardiac cycle
2.4.2 เสียงที่เกิดจากการทำงานของหัวใจ
2.5 ปริมาณเลือดที่ถูกบีบออกจากหัวใจ
2.5.1 Cardiac output
2.5.2 Stroke volume
2.5.3 Heart rate
2.6 การควบคุมการทำงานของหัวใจ

**ตอนที่ 3 หลอดเลือดและการไหลเวียนเลือดในร่างกาย**

3.1 หลอดเลือด
3.1.1 หลอดเลือดแดง (Arteries)
3.1.2 หลอดเลือดฝอย (Capillary)
3.1.3 หลอดเลือดดำ (Vein)
3.2 การไหลเวียนเลือดในร่างกาย
3.2.1 Pulmonary circulation
3.2.2 Systemic circulation
3.3 ความดันเลือด
3.3.1 ความดันเลือดแดง
3.3.2 การไหลเวียนในหลอดเลือดฝอย
3.3.3 ความดันเลือดดำ
3.4 อัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะต่าง ๆ

**ตอนที่ 4 การควบคุมการทำงานของระบบไหลเวียน**

4.1 ศูนย์ควบคุมของระบบไหลเวียนเลือด
4.1.1 ศูนย์ควบคุมในเมดัลลา
4.1.2 ศูนย์ควบคุมใน hypothalamus
4.1.3 ศูนย์ควบคุมภายใน cerebral cortex
4.1.4 ศูนย์ควบคุมในไขสันหลัง
4.2 ตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงในระบบไหลเวียนเลือด
4.3 การควบคุมการทำงานของหลอดเลือด

**ตอนที่ 5 การไหลเวียนเลือดล้มเหลว**

5.1 สาเหตุ
5.2 Circulatory shock
5.3 ผลของช็อกต่อร่างกาย

**ตอนที่ 6 ระบบน้ำเหลือง (Lymphatic system)**

6.1 หน้าที่ของระบบน้ำเหลือง

6.2 โครงสร้างของระบบน้ำเหลือง

6.2.1 น้ำเหลือง (Lymph)

6.2.2 ท่อน้ำเหลือง (Lymphatic Vessels)

6.2.3 อวัยวะในระบบน้ำเหลือง (Organs of the lymphatic system)

# บทที่ 8
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบไหลเวียน
# (Anatomy and Physiology of the Circulation system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

การทำงานของเซลล์ทุกเซลล์ในร่างกายต้องการอาหาร และออกซิเจน รวมทั้งสารที่จำเป็นอื่น ๆ เพื่อการดำรงชีวิต โดยอาศัยการขนส่งของระบบไหลเวียน ขณะเดียวกันระบบไหลเวียนก็จะรับของเสียที่ได้จากขบวนการเมตาบอลิซึมจากเซลล์เพื่อนำไปขับถ่ายออกจากร่างกายโดยไตหรือปอดต่อไป การไหลเวียนเกิดจากการทำงานของหัวใจ หลอดเลือด และเลือด โดยหัวใจจะทำหน้าที่หดตัว และขับดันเลือดให้ไหลไปตามหลอดเลือด เพื่อไปยังอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

**หน้าที่หลักของระบบไหลเวียนเลือด** ดังต่อไปนี้

1. สารอาหาร (Nutrient) เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน จากระบบย่อยอาหาร ไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกาย
2. ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการขนส่งออกซิเจนจากปอดไปสู่เซลล์ทั่วร่างกาย และในขณะเดียวกันก็นำคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากเซลล์ไปขับทิ้งยังปอด
3. สารจากการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ เช่น Urea, Uric acid และ Creatinine ไปยังไตเพื่อขับทิ้ง
4. น้ำ โดยการช่วยควบคุม และนำน้ำไปยังส่วนต่าง ๆ เพื่อความสมดุลของน้ำในร่างกาย
5. ความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่
6. ฮอร์โมน โดยเลือดช่วยนำฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อ ไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานของเซลล์
7. สารภูมิคุ้มกัน โดยเลือดนำสารภูมิคุ้มกันจากแหล่งผลิต เช่น อวัยวะน้ำเหลือง ไปยังเนื้อเยื่อที่มีการติดเชื้อเพื่อต่อต้านเชื้อโรค

## ตอนที่ 1
## เลือด (Blood)

เลือดเป็นเนื้อยึดต่อชนิดพิเศษ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางติดต่อระหว่างเซลล์ต่างๆ ทั่วร่างกาย การไหลเวียนของเลือดจะช่วยทำให้เซลล์มีสภาวะแวดล้อมที่คงที่และเหมาะสม เลือดจำนำอาหารไปให้เนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย และนำของเสียและสารที่หลั่งจากเนื้อเยื่อเหล่านั้นออกไปตามกระแสเลือด ไปยังอวัยวะหรือเนื้อเยื่ออื่นๆ เพื่อนำไปใช้หรือกำจัดออกจากร่างกาย

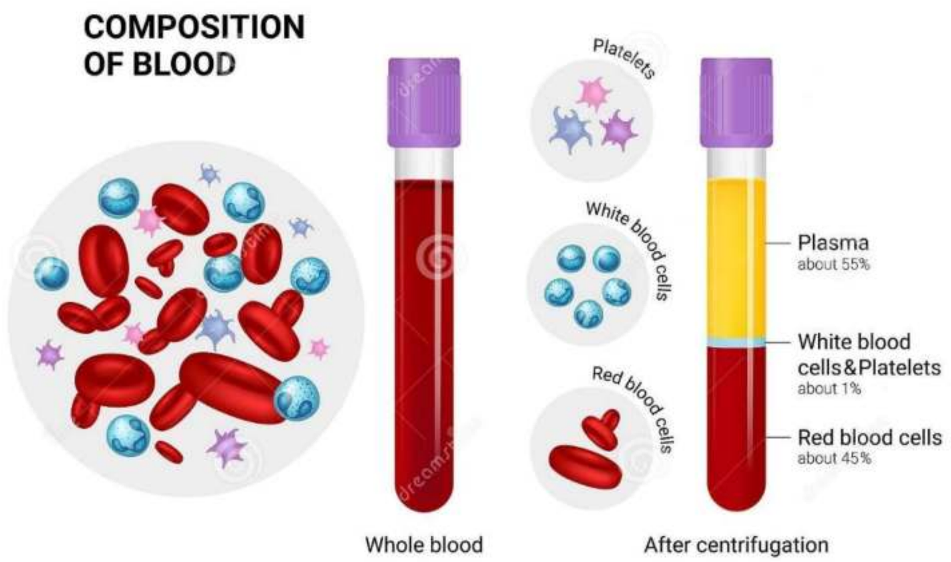
เลือดมีลักษณะเป็นของเหลวสีแดง มีความหนืดมากกว่าน้ำประมาณ 4.5 - 5.5 เท่า มีอุณหภูมิประมาณ 38$^{0}$C (100$^{0}$F) ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิปกติของร่างกายเล็กน้อย และมีภาวะเป็นด่างเล็กน้อย โดยมี pH ประมาณ 7.40 (ปกติ 7.35 - 7.45) ปริมาตรของเลือด คิดเป็น 8% ของน้ำหนักตัว ในผู้ชายมีปริมาตรเฉลี่ย 5 - 6 ลิตร ส่วนในผู้หญิงมีปริมาตรเฉลี่ย 4 - 5 ลิตร ปริมาณเลือดอาจเปลี่ยนแปลงได้ด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น การมีปริมาตรลดลงจากการเสียเลือด การสูญเสียเม็ดเลือดซึ่งอาจเกิดจากมีการทำลายหรือมีการสังเคราะห์เม็ดเลือดแดงน้อยลงทำให้เกิดภาวะเลือดจาง หรือการสูญเสียเฉพาะพลาสมา เช่น การถูกไฟไหม้

เลือดประกอบด้วยองค์ประกอบใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ

**=> พลาสมา (Plasma)** เป็นส่วนของของเหลวที่มีสารต่าง ๆ ละลายอยู่

**=> เซลล์เม็ดเลือด (Blood cells)** ประกอบด้วย เม็ดเลือดแดง (Erythrocyte หรือ Red blood cells, RBC), เม็ดเลือดขาว (Leukocyte หรือ White blood cells, WBC) และเกร็ดเลือด (Platelet หรือ Thrombocyte)

ถ้าเราเจาะเลือดมาจำนวนหนึ่ง นำไปใส่หลอดแก้ว ซึ่งมีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง จะเห็นเลือดแยกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่อยู่ด้านบนจะเป็นของเหลวใสสีเหลืองอ่อน เรียกว่า **พลาสมา (Plasma)** มีประมาณ 55% ส่วนที่อยู่ด้านล่างจะมีสีแดง เป็น**เม็ดเลือดแดง (Erythrocyte หรือ Red blood cells, RBC)** มีประมาณ 45% และระหว่างชั้นของเม็ดเลือดแดงกับชั้นของพลาสมา จะมีชั้นบาง ๆ สีขาว แทรกอยู่ตรงกลางเรียกว่า **Buffy coat** ซึ่งเป็นส่วนของ**เม็ดเลือดขาว (White blood cells, WBC) และเกร็ดเลือด (Platelet)**




รูปที่ 8-1 แสดงส่วนประกอบของเลือด เมื่อนำเลือดสด (whole blood) ไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง

## 1.1 พลาสมา (Plasma)

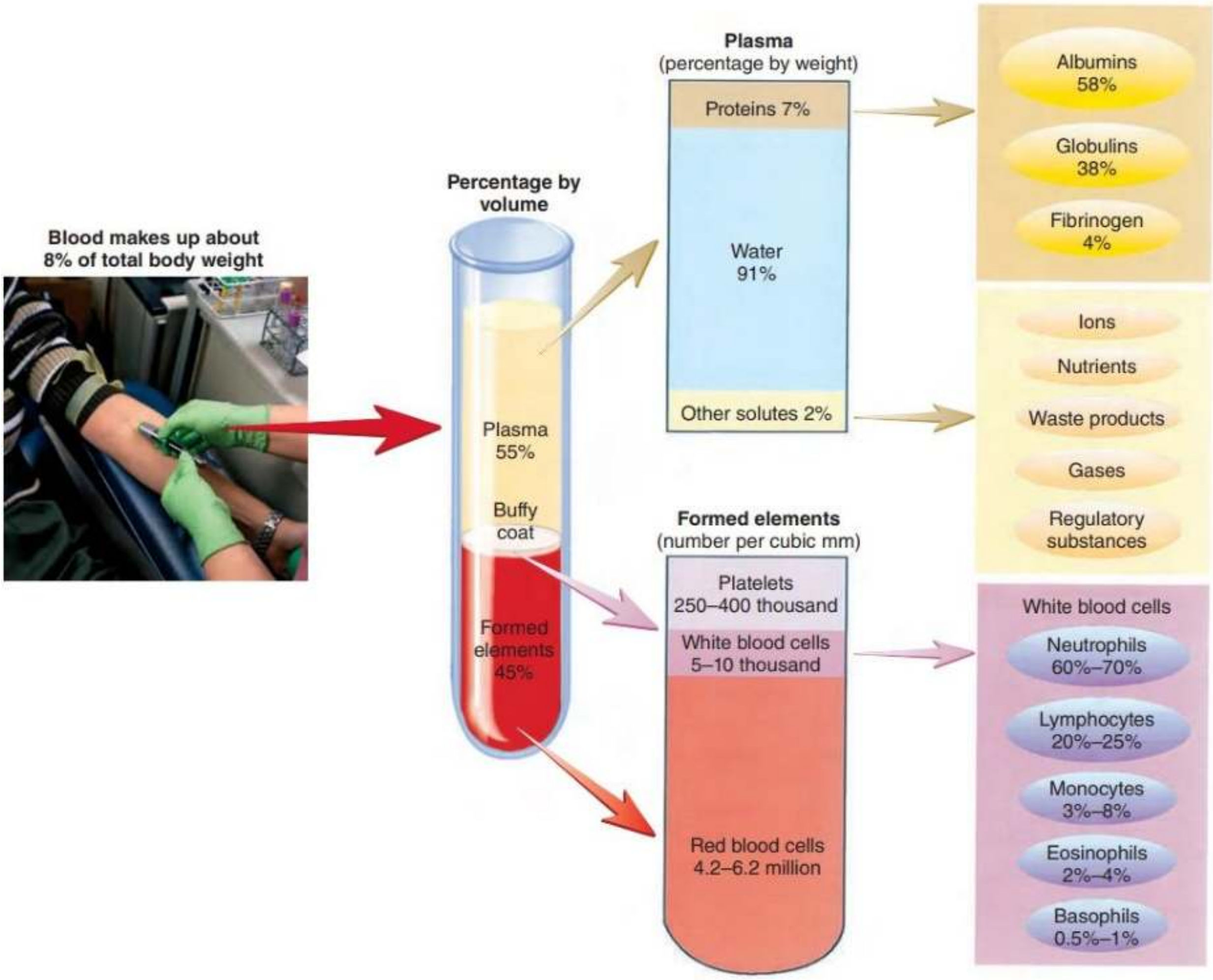
คนปกติมีปริมาตรของพลาสมาในร่างกายประมาณ 5% ของน้ำหนักตัว พลาสมาเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน ประกอบด้วยน้ำ 91.5% ส่วนอีก 8.5% จะเป็นสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในพลาสมา เช่น โปรตีน 7%, แร่ธาตุต่าง ๆ 1.5% เป็นต้น โปรตีนในพลาสมา ประกอบด้วย

**=> อัลบูมิน (Albumin)** เป็นโปรตีนที่สร้างจากตับ มีประมาณ 6-8 กรัม/เลือด 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของโปรตีนในพลาสมาจะมีมากกว่าในของเหลวระหว่างเซลล์ ถึง 4 เท่า จึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิด Colloidal osmotic pressure ของเลือดสูงกว่า Colloidal osmotic pressure ของเหลวระหว่างเซลล์ ดังนั้น หน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งของอัลบูมิน คือช่วยควบคุมปริมาตรเลือดของร่างกายให้อยู่ในปริมาณที่ปกติ โดยป้องกันไม่ให้น้ำในเลือดสูญเสียออกไปสู่ของเหลวระหว่างเซลล์

**=> โกลบูลิน (Globulin)** เป็นโปรตีนที่สร้างจากตับ มีประมาณ 4-6 กรัม/เลือด100 มิลลิลิตร ทำหน้าที่เกี่ยว ข้องกับภูมิคุ้มกัน และเป็นตัวพาสารต่าง ๆ เช่น ทองแดง ไขมัน และบิลลิรูบิน

**=> ไฟบริโนเจน (Fibrinogen)** เป็นโปรตีนที่สร้างจากตับ ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด ถ้าแยกไฟบริโนเจน (fibrinogen) ออกจากส่วนพลาสมาแล้ว ของเหลวส่วนนั้น เรียกว่า **Serum**

นอกจากนี้ ในพลาสมายังประกอบไปด้วย non protein nitrogen (NPN) ซึ่งเกิดจากการเมตาบอลิซึมของโปรตีน เช่น urea, uric acid, creatinine, ammonia และสาร electrolytes เช่น $Na^+$, $K^+$, $Ca^{++}$, $Cl^-$ และ $HCO3^-$



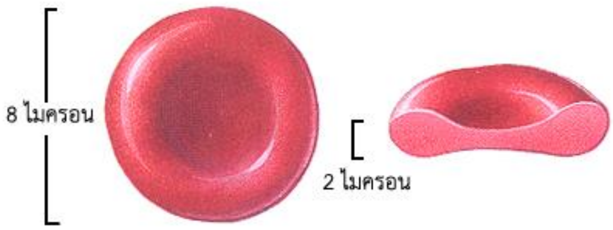

รูปที่ 8-2 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบของเลือด

## 1.2 เม็ดเลือด (Blood cells)

เม็ดเลือดมี 3 ชนิด ได้แก่ เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด เซลล์เม็ดเลือดขาวทั้ง 3 ชนิด (ยกเว้นเซลล์เม็ดเลือดขาวบางชนิด) สร้างมาจากเซลล์ต้นตอ (stem cells) ในไขกระดูก ซึ่งโดยปกติ เซลล์ในไขกระดูกจะเป็นเม็ดเลือดขาว ประมาณ 75% ส่วนที่กำลังเจริญเป็นเม็ดเลือดแดง มีประมาณ 25% อย่างไรก็ตาม ในเลือดคนเรามีเม็ดเลือดแดงมากกว่าเม็ดเลือดขาว 500 เท่า ด้วยเหตุที่เม็ดเลือดแดงมีช่วงอายุยาวกว่าเม็ดเลือดขาว

### 1.2.1 เม็ดเลือดแดง (Erythrocyte หรือ Red blood cells, RBC)

**1.2.1.1 รูปร่างและขนาด** เซลล์เม็ดเลือดแดงที่โตเต็มที่ มีลักษณะเป็นเซลล์กลมเว้าเข้าหากันตรงกลาง (biconcave) ไม่มีนิวเคลียส มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7-8 ไมโครเมตร หนาประมาณ 2 ไมโครเมตร จากลักษณะที่เป็น biconcave ทำให้เม็ดเลือดแดงสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยไม่ทำให้ปริมาตรเปลี่ยน และด้วยเหตุนี้เม็ดเลือดแดงสามารถมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นโดยที่แรงตึงผิวและพื้นที่ผิวอาจเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

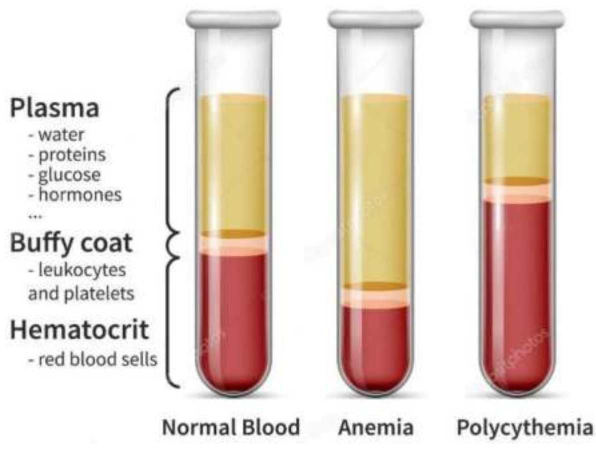



รูปที่ 8-3 แสดงรูปร่างเม็ดเลือดแดง

**1.2.1.2 หน้าที่** เม็ดเลือดแดงทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างเนื้อเยื่อต่างๆ และถุงลม โดยมีฮีโมโกลบินเป็นตัวจับแก๊สต่างๆ ในการขนส่ง ซึ่งรูปร่างที่เป็น biconcave ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงมีพื้นที่ผิวมาก จึงทำให้มีการแพร่ของแก๊สเกิดได้เร็ว นอกจากนี้เม็ดเลือดแดงยังช่วยทำหน้าที่ปรับสมดุลกรด-ด่าง ของเลือด

**1.2.1.3 ปริมาณ** ในผู้ใหญ่เพศชาย มีเม็ดเลือดแดงมีประมาณ 5.5 ล้านเซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร และเพศหญิงมีประมาณ 4.8 ล้านเซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตรในผู้หญิง ปริมาณเม็ดเลือดแดงอาจมีความแตกต่างกัน ตามอายุ ภูมิอากาศ ระดับความสูงของที่อยู่อาศัย เป็นต้น และอาจพบเม้ดเลือดแดงที่ยังเจริญไม่เต็มที่ เรียกว่า reticulocyte count ได้ประมาณ 1-2 %

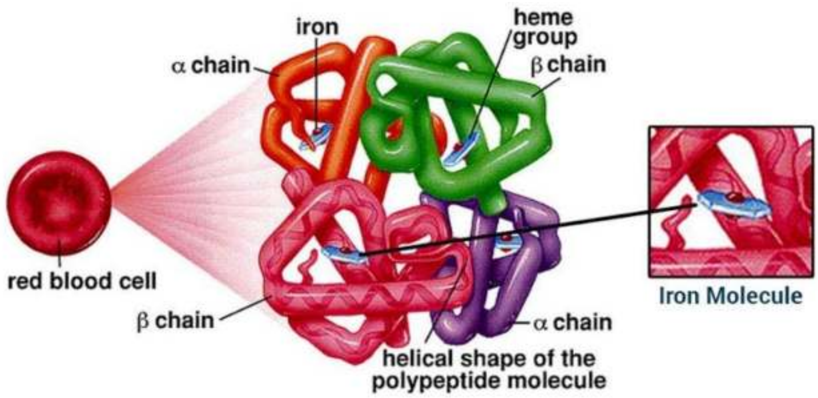
**ฮีมาโตคริต (Hematocrit, Hct.)** หมายถึง อัตราส่วนของปริมาตรเม็ดเลือดแดง ต่อปริมาตรเลือดทั้งหมด ทำได้โดยการเจาะเลือดมาใส่ในหลอดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด จากนั้นนำไปปั่น เม็ดเลือดแดงที่มีน้ำหนักมากกว่าจะตกอยู่ข้างล่าง โดยค่าฮีมาโตคริตคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ในผู้ใหญ่ปกติ มีค่าประมาณ 40-45% ค่าฮีมาโตคริตอาจเปลี่ยนแปลงได้จากสาเหตุหลายประการ หากมีค่าสูงกว่าปกติ เรียกว่า **ภาวะเลือดข้น (Polycythemia)** และมีค่าต่ำกว่าปกติ เรียกว่า **ภาวะเลือดจาง (Anemia)**




รูปที่ 8-4 แสดงส่วนประกอบของเลือดในภาวะเลือดจาง (anemia) และภาวะเลือดข้น (polycythemia)

**ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin, Hb)** เป็นโปรตีนในเม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่รับส่งออกซิเจน ฮีโมโกลบินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วย 4 Subunit (หน่วยย่อย) โดยแต่ละหน่วยย่อยประกอบด้วย 1 Heme จับกับโพลีเปปไทด์ (polypeptide) 1 สาย

แต่ละ Heme มี Fe 1 อะตอม (อยู่ในรูป $Fe^{+2}$) ส่วนโพลีเปปไทด์ทั้ง 4 สาย ในฮีโมโกลบิน เรียกว่า **globin** สายโพลีเปปไทด์ ทั้ง 4 สาย แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ๆ ละ 2 คู่ คือ แอลฟ่าและเบต้า สำหรับฮีโมลโกลบินของผู้ใหญ่ (Adult hemoglobin, HbA) หรือแอลฟ่ากับแกรมม่า สำหรับฮีโมลโกลบินของเด็ก (Fetal hemoglobin, HbF) เป็นต้น

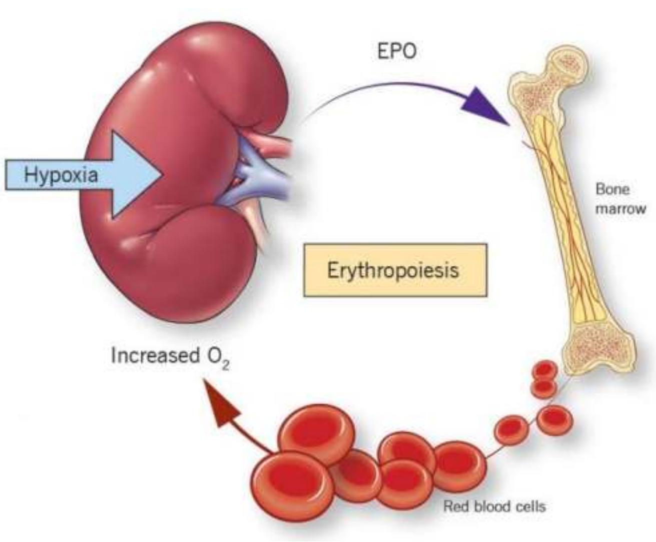



รูปที่ 8-5 แสดงโมเลกุลของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง

ฮีโมโกลบินสามารถจับกับออกซิเจน เป็น **Oxyhemoglobin** ความสามารถในการจับกับออกซิเจนขึ้นกับ pH, อุณหภูมิ, $PCO_2$, $PO_2$ ของเลือด และความเข้มข้นของสาร 2,3 - diphosphoglycerate (2,3 DPG) ส่วนฮีโมโกลบินที่จับกับคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า **Carbaminohemoglobin**

ฮีโมโกลบิน 1 กรัมสามารถจับกับออกซิเจนได้เต็มที่ 1.34 มล. ดังนั้น เลือด 100 มล. สามารถจับกับออกซิเจนได้ 20 มล. หากเลือดเลือดที่ออกจากปอดจำนวน 100 มล. มีปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่ได้จับกับออกซิเจนเกิน 5 กรัม จะทำให้เลือดมีสีคล้ำลง ผิวหนังเขียวคล้ำ เห็นได้ชัดตามปลายมือปลายเท้า ริมฝีปากเรียกว่า ภาวะ**cyanosis**

**1.2.1.4 การสร้างเม็ดเลือดแดง** เม็ดเลือดแดง สร้างจากไขกระดูก โดยกระบวนการที่เรียกว่า **อีริโทรพอยอีซิส** (**Erythropoiesis)** อัตราการสร้างปกติประมาณ 400-500 มล./เดือน อัตราการสร้างเปลี่ยนแปลงได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแรงดันหรือปริมาณออกซิเจนในเลือด เช่น ในกรณีร่างกายมีการเสียเลือด จะมีผลเร่งไขกระดูกให้สร้างเม็ดเลือดแดงมากขึ้น การสร้างเม็ดเลือดแดงถูกควบคุมโดยฮอร์โมน **อีริโทรโพอิติน (Erythropoietin)** ซึ่งสร้างจากไต

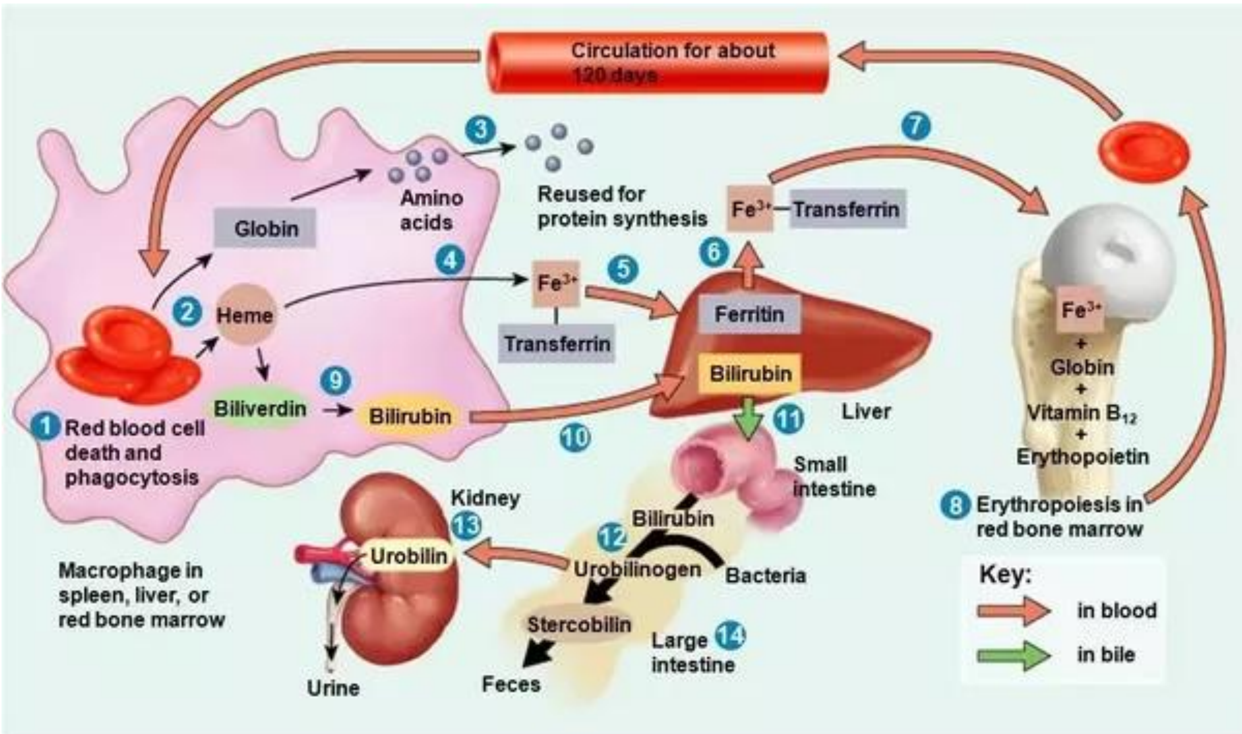



รูปที่ 8-6 แสดงกลไกการสร้างเม็ดเลือดแดง เมื่อร่างกายอยู่ในภาวะ hypoxia (ที่มา : https://www.ccjm.org/)

**1.2.1.5 การทำลายเม็ดเลือดแดง** โดยทั่วไปเม็ดเลือดแดงมีอายุประมาณ 120 วัน จากสาเหตุที่เม็ดเลือดแดงต้องเสียดสีกับผนังของหลอดเลือดและสัมผัสกับสารเคมีต่าง ๆ ในขณะที่มันเคลื่อนที่ไป ประกอบกับเม็ดเลือดแดงเมื่อมีอายุมากขึ้น จำนวน ATP ในเซลล์จะลดลงไม่เพียงพอในการที่จะนำไปใช้เพื่อทำให้ผนังของเม็ดเลือดเกิดความยืดหยุ่น จึงมีผลให้ผนังเม็ดเลือดแดงเสื่อม เม็ดเลือดแดงที่มีอายุมากจึงแตก (hemolysis) ได้ง่าย

เม็ดเลือดแดงที่มีอายุส่วนใหญ่ถูกล้อมและกลืนโดยเซลล์มาโครฟาจที่ตับและม้าม ภายในเซลล์มาโครฟาจฮีโมโกลบินจะถูกสลายเป็น Heme กับ Globin ต่อมา Heme จะถูกสลายต่อไป อะตอมของเหล็กในฮีมจะถูกปล่อยออกและนำไปใช้ในการสร้างฮีมตัวใหม่ ส่วนที่เหลือของฮีม จะถูกเปลี่ยนเป็น biliverdin แล้วเปลี่ยนเป็น bilirubin เข้าสู่พลาสมา โดยการจับกับอัลบูมิน ซึ่งจะพาไปยังเซลล์ตับ แล้วขับออกมากับน้ำดีเข้าสู่ลำไส้เล็ก บางส่วนของบิลิรูบินจะถูกดูดซึมกลับเข้าสู่กระแสเลือด แล้วถูกขับที่ไตปนออกมากับน้ำปัสสาวะ ส่วนใหญ่ที่เหลือในลำไส้ใหญ่จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยเอ็นไซม์ของแบคทีเรียในลำไส้ให้เป็นสารสีน้ำตาลออกมากับอุจจาระ

บิลิรูบิน เป็นสารมีสีเหลืองทอง หากมีความเข้มข้นในกระแสเลือดเกิน 2 มิลลิกรัม/เลือด 100 มิลลิลิตร จะทำให้ผิวหนัง เยื่อบุตา เยื่อบุต่างๆ มีสีเหลือง เรียกว่า **ดีซ่าน (Jaundice)** การเพิ่มของบิลิรูบินในเลือดเกิดได้หลายสาเหตุ เช่น เม็ดเลือดแดงถูกทำลายมากกว่าปกติ หรือบิลิรูบินเข้าสู่ตับได้น้อยลง การหลั่งบิลิรูบินจากตับเข้าสู่ท่อทางเดินน้ำดีลดลง เช่น การอุดกั้นของท่อทางเดินน้ำดี




รูปที่ 8-7 แสดงขั้นตอนการสลายเม็ดเลือดแดง

**โลหิตจาง (Anemia)** คือ ภาวะที่ร่างกายมีปริมาณฮีโมโกลบิน หรือปริมาณเม็ดเลือดแดงต่ำกว่าปกติ เกิดได้จากสาเหตุต่างๆ เช่น การเสียเลือดทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง การสร้างและการเจริญเติบโตของเม็ดเลือดแดงผิดปกติ ความผิดปกติของไขกระดูก ความผิดปกติทางพันธุกรรม หรือการได้รับยาบางชนิด กรณีต่างๆ ทำให้ขนาดเซลล์และปริมาณฮีโมโกลบินแตกต่างกันออกไป เราจึงใช้ค่าของขนาดเซลล์และปริมาณฮีโมโกลบิน เป็นดัชนีในการแยกชนิดของ anemia

**1. ปริมาตรเฉลี่ยของเซลล์ (mean corpuscular volume, MCV)** เซลล์เม็ดเลือดแดงปกติมีขนาด 75-95 ลบ.ไมครอน เรียก normocytic หากมีขนาดเล็กกว่า 75 ลบ.ไมครอน เรียกว่า microcytic และถ้าใหญ่กว่า 95 ลบ.ไมครอน เรียกว่า macrocytic

**2. ปริมาณเฉลี่ยของ Hb ในเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular hemoglobin)** เม็ดเลือดแดงที่มีความเข้มข้น Hb ปกติ ต่ำกว่าปกติ และสูงกว่าปกติ เรียกว่า normochromic, hypochromic และ hyperchromic ตามลำดับ

Anemia สามารถแบ่งตามลักษณะขนาด และการติดสี ได้ 3 ชนิด คือ

- **Normochromic normocytic anemia** เป็นโลหิตจางชนิดที่การติดสี และมีขนาดปกติ เช่น โลหิตจางจากการเสียเลือด
- **Hypochromic microcytic anemia** เป็นโลหิตจางชนิดที่การติดสีจางและเม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็ก ได้แก่ โลหิตจางจากการขาดเหล็ก
- **Macrocytic anemia** เป็นโลหิตจางชนิดที่เม็ดเลือดแดงมีขนาดใหญ่ ได้แก่ โลหิตจางการขาดวิตามิน $B_{12}$ เป็นต้น

**1.2.2 เม็ดเลือดขาว (Leukocyte หรือ White blood cell, WBC)** มีหน้าที่ป้องกันการรุกรานของแบคทีเรีย เชื้อโรค และสารแปลกปลอมต่างๆ เม็ดเลือดขาวแตกต่างจากเม็ดเลือดแดง คือเม็ดเลือดขาวมีนิวเคลียส แต่ไม่มีฮีโมโกลบิน ในคนปกติพบประมาณ **5,000-10,000 เซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร** แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Granulocyte (ชนิดมีแกรนูล) และ Agranulocyte (ชนิดไม่มีแกรนูล)

**1.2.2.1 Granulocyte** เป็นพวกที่มีแกรนูล (Granule) อยู่ภายใน cytoplasm มี 3 ชนิด

1) **Neutrophil** เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีมากที่สุดประมาณ 60-70% ของเม็ดเลือดขาวทั้งหมด มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-12 ไมโครเมตร มีนิวเคลียส 2-6 กลีบ (Lobe) เชื่อมกันด้วยโครมาตินเส้นบาง ๆ นิวโตรฟิลที่มีอายุมากจะมีจำนวน Lobe เพิ่มขึ้นจนบางครั้งเรียกว่า **Polymorphonuclear leukocyte (PMN)** หรือ **Polymorphs** หน้าที่ของ neutrophil คือทำลายเชื้อแบคทีเรียที่เข้าสู่ร่างกายด้วยวิธี phagocytosis (กิน) โดยนิวโตรฟิล จะเป็นพวกแรกที่ร่างกายใช้ในการกำจัดสิ่งแปลกปลอม ทั้งในกระแสเลือดและในเนื้อเยื่อเพราะมันสามารถแทรกตัวออกจากหลอดเลือดได้ เรียกว่า diapedesis หลังจากออกจากไขกระดูก นิวโตรฟิลจะมีอายุเพียง 3 วัน

2) **Eosinophil** ปกติพบประมาณ 2-4% มีขนาดเล็กกว่านิวโตรฟิลเล็กน้อย นิวเคลียสมีประมาณ 2-3 กลีบ ภายในแกรนูลบรรจุสารที่มีฤทธิ์ต้านฮีสตามีน (histamine) จึงสามารถลดการแพ้หรือการอักเสบจากสารพิษต่าง ๆ ได้ และยังทำลายตัวอ่อนของหนอนพยาธิที่เข้าสู่ร่างกายทางหลอดเลือดหรือผนังท่อทางเดินอาหาร จึงสามารถพบ eosinophil เพิ่มขึ้นได้มากในผู้ที่ป่วยที่มีพยาธิในระบบทางเดินอาหาร หรือโรคหอบหืด

3) **Basophil** ปกติพบประมาณ 0.5-1% มีนิวเคลียส 2 กลีบ ลักษณะของแกรนูล มีขนาดใหญ่กว่าเม็ดเลือดขาวชนิดอื่นจนบดบังทำให้มองเห็นนิวเคลียสได้ไม่ชัด ภายในแกรนูลบรรจุสารพวก histamine, heparin และ slow reaction substance ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแพ้

**1.2.2.2 Agranulocyte** เป็นพวกที่ไม่มีแกรนูล (granule) อยู่ภายใน cytoplasm มี 2 ชนิด

1) **Monocyte** พบประมาณ 3-8% มีนิวเคลียสใหญ่คล้ายรูปไต อยู่ชิดด้านใดด้านหนึ่งของเซลล์โมโนซัยท์สามารถผ่านผนังหลอดเลือดออกไปสู่เนื้อเยื่อ และเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์ macrophage ในเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ เช่น alveolar macrophage ในถุงลม  spleen macrophage ในม้าม, Kupffer cell ในตับ และมีชีวิตอยู่ต่อไปได้อีกเป็นปี ดังนั้นหน้าที่ของโมโนซัยท์ จึงเกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันโรคโดยการกินสิ่งแปลกปลอม

**2) Lymphocyte** พบประมาณ 20-25% เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีหลายขนาด ซึ่งนิวเคลียสมีรูปร่างกลมขนาดใหญ่เกือบเต็มเซลล์ ส่วนใหญ่เจริญและแบ่งตัวมาจากต่อมน้ำเหลือง มีส่วนน้อยเท่านั้นที่สร้างมาจากไขกระดูก หน้าที่ของลิมโฟซัยท์เกี่ยวข้องกับการตอบสนองทางปฏิกิริยาในระบบภูมิคุ้มกัน



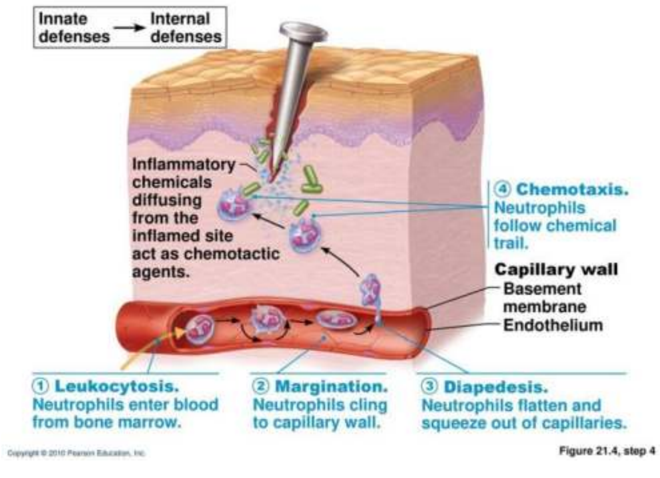

รูปที่ 8-8 แสดงเม็ดเลือดขาวชนิดต่าง ๆ

**คุณลักษณะที่สำคัญของเม็ดเลือดขาว**

=> **Diapedesis** เซลล์เม็ดเลือดขาวสามารถเคลื่อนที่ผ่านผนังหลอดเลือดฝอย สู่เนื้อเยื่อเพื่อไปยังบริเวณที่มีเชื้อโรค

=> **Chemotaxis** สารเคมีที่ปล่อยออกจากเชื้อโรคหรือเซลล์ที่ตายแล้ว จะดึงดูดให้เม็ดเลือดขาวเคลื่อนที่เข้าหา

=> **Phagocytosis** คือ ความสามารถในการที่จะจับกินเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอม โดยการโอบล้อมสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ภายในเซลล์ แล้วทำการย่อยเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมนั้น




รูปที่ 8-9 แสดงคุณสมบัติของเม็ดเลือดขาว

**1.2.3 เกร็ดเลือด (Platelet หรือ Thrombocyte)** เกล็ดเลือดมีขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-4 ไมครอน หนาประมาณ 0.5-1 ไมครอน ไม่มีนิวเคลียส ไม่มีสี ปริมาณเกล็ดเลือดในร่างกายมีค่าประมาณ 150,000-400,000 เซลล์/ลบ.มม. เกล็ดเลือดเจริญจากเซลล์ Megakaryocyte เมื่อเข้าสู่กระแสเลือดมีอายุได้ 5-11 วัน เกร็ดเลือดมีคุณสมบัติพิเศษ คือเมื่อมีสิ่งใดมากระตุ้น เช่น การสัมผัสพื้นผิวที่ไม่เรียบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทำให้

ผิวของเกร็ดเลือดเหนียวขึ้น และจะไปเกาะติดกับผนังของหลอดเลือด และหลั่งสาร ADP, Thromboxane ออกมาจากแกรนูลของมัน ซึ่งสารเหล่านี้จะไปกระตุ้นให้เกร็ดเลือดเกิดการรวมกลุ่มกันเอง (platelet aggregation) จึงอุดรอยเปิดของหลอดเลือด ทำให้เลือดหยุดได้ ดังนั้นเกร็ดเลือดจึงมีหน้าที่สำคัญช่วยใน**การห้ามเลือด (Hemostasis)** เมื่อเกิดบาดแผล

**การห้ามเลือด (Hemostasis)** หมายถึง การป้องกันการเสียเลือดเมื่อเกิดบาดแผล ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่

**1) การหดตัวของหลอดเลือด (Vasoconstriction)** เมื่อเกิดบาดแผล สาร serotonin จากเกร็ดเลือด จะทำให้หลอดเลือดแดงเล็กๆ หดตัว ช่วยลดการสูญเสียเลือด

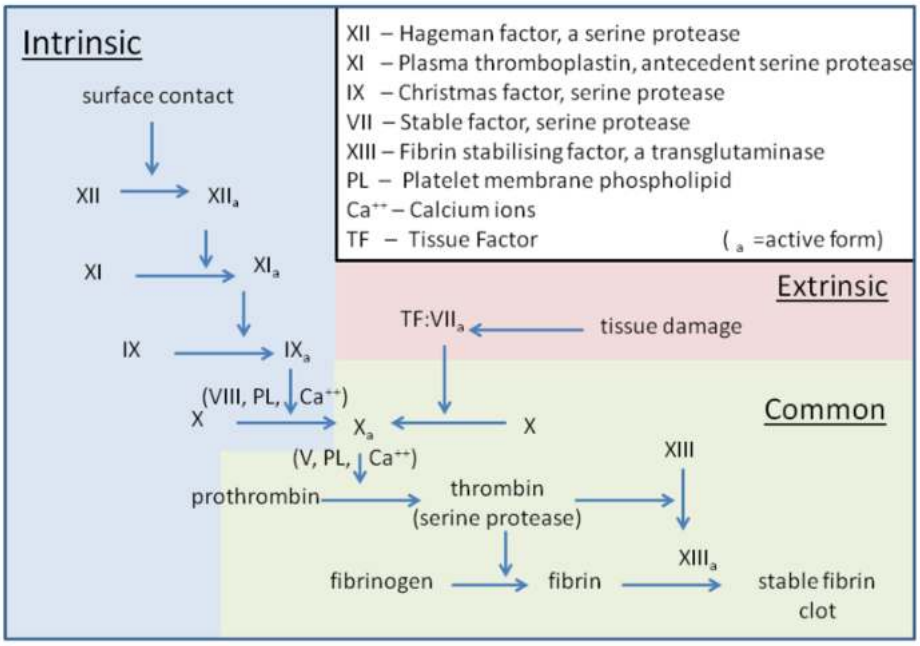
**2) การเกาะกลุ่มของเกร็ดเลือด (Platelet aggregation)** เมื่อเกิดบาดแผล เซลล์ที่ได้รับบาดเจ็บและเกล็ดเลือดบริเวณนั้น จะปล่อยสาร ADP มีผลทำให้เกล็ดเลือดเปลี่ยนรูปร่างจากแผ่นเป็นก้อนและรวมกันอุดหลอดเลือดที่เกิดบาดแผล

**3) การแข็งตัวของเลือด (Coagulation)** เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเกล็ดเลือด สารต่างๆ ในพลาสมา (blood clotting factor) และสารจากเนื้อเยื่อที่บาดเจ็บ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนย่อย คือ

**ขั้นที่ 1 การเกิด Prothrombin converting enzyme** ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของการแข็งตัวของเลือดเกิดขึ้นได้ 2 ทางคือ

**=> Extrinsic pathways** เกิดจากการทำลายเซลล์หลอดเลือดและเนื้อเยื่อข้างเคียง ซึ่งกระตุ้นให้เซลล์เหล่านี้สร้าง Factor III (Tissue thromboplastin) ไปทำปฏิกิริยากับ factor IV, V, VII กลายเป็น prothrombin converting enzyme

**=> Intrinsic pathways** เกิดขึ้นโดยไม่มีการชอกช้ำของเนื้อเยื่อ แต่เกิดโดยการที่ Platelet ไปสัมผัสกับพื้นผิวที่ไม่เรียบ เช่น คอลลาเจนที่อยู่ใต้ชั้นเซลล์บุผิว (endothelium cell) ของหลอดเลือด แล้วส่งผลให้มีการกระตุ้นปัจจัยต่าง ๆ จนกลายเป็น prothrombin converting enzyme




รูปที่ 8-10 แสดงกลไกการแข็งตัวของเลือด (Coagulation)

**ขั้นที่ 2 การเปลี่ยน Prothrombin เป็น Thrombin** โดยที่ prothrombin converting enzyme และ blood clotting factor ไปเปลี่ยน prothrombin ซึ่งเป็นพลาสมาโปรตีนที่สร้างจากตับ ไปเป็น thrombin

**ขั้นที่ 3 การเปลี่ยน Fibrinogen เป็น Fibrin โดย** thrombin จากนั้นไฟบรินจะสานกันเป็นร่างแห โดยอาศัยแคลเซี่ยม และ factor XIII ทำให้เกิดลิ่มเลือด และลิ่มเลือดจะรัดตัวกันแน่น (clot retraction) บีบส่วนที่เป็นของเหลวคล้ายพลาสมาออกมา เชื่อว่า clot retraction จะช่วยดึงบาดแผลให้ประสานกัน

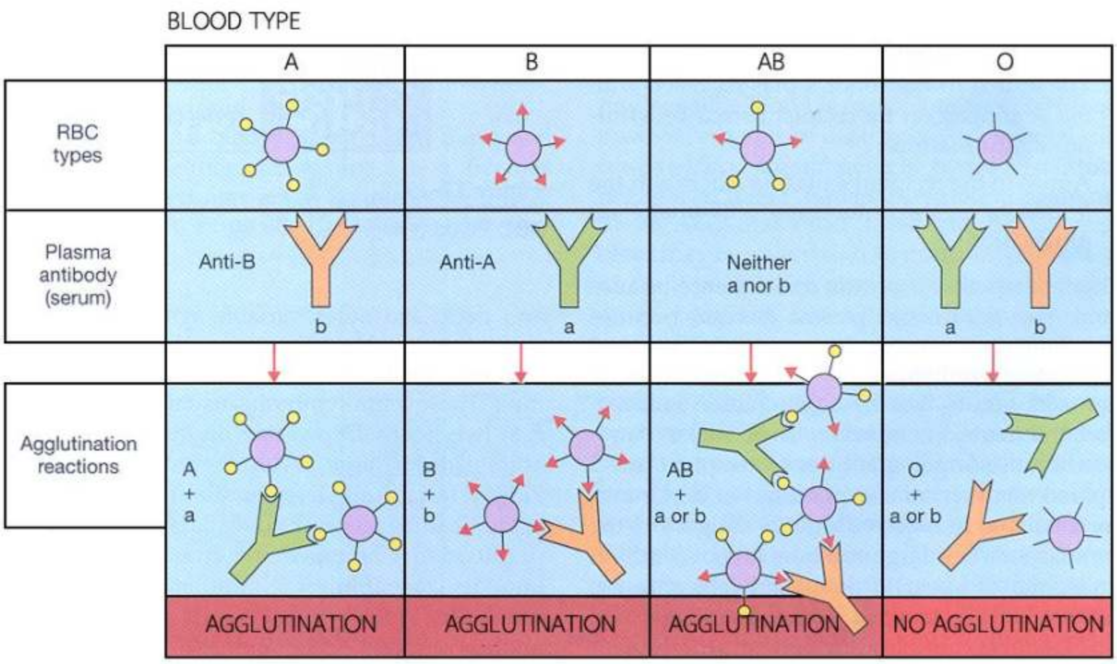
## 1.3 หมู่เลือด (Blood group)

ที่ผิวของเม็ดเลือดแดงจะมีสารชนิดหนึ่งเรียกว่า antigen (agglutinogen) เกาะอยู่ ซึ่งเราใช้เป็นตัวกำหนดกรุ๊ปเลือด โดยในปัจจุบันระบบการจัดแบ่งกรุ๊ปเลือดที่นิยมใช้มี 2 ระบบใหญ่ ๆ และระบุกรุ๊ปทั้ง 2 ระบบ ควบคู่กันไป คือ ระบบ ABO Group และระบบ Rh Group

**ABO Group** แบ่งออกเป็น 4 กรุ๊ป ตามชนิดของ antigen ซึ่งพบที่ผิวของเม็ดเลือดแดง คือ

1. กรุ๊ป A คือ บุคคลที่มี antigen (agglutinogen) ชนิด A ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง
2. กรุ๊ป B คือ บุคคลที่มี antigen (agglutinogen) ชนิด B ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง
3. กรุ๊ป AB คือ บุคคลที่มี antigen (agglutinogen) ทั้งชนิด A และ B ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง
4. กรุ๊ป O คือ บุคคลที่ไม่มี antigen (agglutinogen) ชนิด A และ B ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง

โดยธรรมชาติในพลาสมาของบุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป A ร่างกายจะสร้างสาร antibody (agglutinin) ขึ้นมาต่อต้าน antigen ชนิด B (ซึ่งพบที่ผิวของเม็ดเลือดแดง ทั้งกรุ๊ป B และ กรุ๊ป AB) เรียกสารนี้ว่า Anti-B antibody (agglutinin B)




รูปที่ 8-11 แสดง antigen บนผิวของเม็ดเลือดแดง และ antibody ในพลาสมา ของระบบ ABO Group

บุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป B ในพลาสมาก็จะมี antibody ชนิด Anti-A antibody เพื่อต่อต้าน antigen ชนิด A เช่นกัน แต่ในบุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป AB ในพลาสมาจะไม่พบ antibody ทั้งชนิด Anti-A antibody และ Anti-B antibody เมื่อเม็ดเลือดแดงของกรุ๊ป A เข้าไปอยู่ในพลาสมาที่มีสาร antibody ชนิด Anti-A antibody เช่น นำเลือดกรุ๊ป A ไปให้บุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป B จะทำให้เม็ดเลือดแดงเกิดการเกาะกลุ่มจับตัวกันและตกตะกอนและเม็ดเลือดแดงเกิดการแตกตัว (hemolysis) ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่า agglutination การจับกลุ่มกันมักเกิดขึ้นในหลอดเลือดเล็ก ๆ ของไต ซึ่งจะทำหลอดเลือดในไตอุดตันส่งผลให้ไตหยุดทำงาน และไตวายได้ในที่สุด ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมากที่บุคคลซึ่งมีเลือดกรุ๊ป B ไม่สามารถที่จะรับเลือดของบุคคลกรุ๊ป A ได้ ส่วนบุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป A ก็ไม่สามารถรับเลือดกรุ๊ป B ได้เช่นกัน

สำหรับบุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป O ซึ่งในพลาสมาจะมี antibody ทั้งชนิด Anti-A antibody และ Anti-B antibody จะไม่สามารถรับเลือดกรุ๊ป A , B หรือ AB ได้เลย เพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาจากการให้เลือดผิดหมู่ดังกล่าวแล้วข้างต้นได้ ซึ่งจะต้องได้รับเลือดจากกรุ๊ป O เท่านั้น

ดังนั้น การถ่ายเลือดต้องกระทำภายใต้พื้นฐานว่าผู้ที่ได้รับเลือดจะต้องได้รับเลือดกรุ๊ปเดียวกับตนเองเท่านั้น นอกจากกรุ๊ปนั้นไม่มีจริง ๆ จึงจะพิจารณาให้เลือดกรุ๊ป O แทน (เพราะที่ผิวของเม็ดเลือดแดงกรุ๊ป O ไม่มี antigen ทั้งชนิด A หรือ B)

**Rh Group** กรุ๊ปเลือดระบบนี้ มีชื่อเช่นนี้ เพราะว่าการค้นพบครั้งแรกมีการทดลองในเลือดลิงชนิด Rhesus (Rhesus monkey) โดยแบ่งออกเป็น 2 กรุ๊ป เท่านั้น ตามการพบ หรือไม่พบสาร antigen ชนิด D ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง คือ

1. **$Rh^+$ (Positive)** คือ บุคคลที่มี antigen (agglutinogen) ชนิด D ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง
2. **$Rh^-$ (Negative)** คือ บุคคลที่ไม่มี antigen ชนิด D ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง

โดยปกติแล้ว ในพลาสมาของบุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป $Rh^-$ (Negative) จะยังไม่มีสาร antibody ชนิด Anti-D antibody อยู่ก่อน แต่ Anti-D antibody จะเกิดขึ้นภายหลัง ถ้าหากว่าบุคคลผู้นั้น ได้รับเลือดกรุ๊ป $Rh^+$ (Positive) เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งแม้เพียงครั้งเดียวที่ได้รับเลือดกรุ๊ปดังกล่าว ร่างกายก็จะสร้าง Anti-D antibody ขึ้นมา และ Anti-D antibody ที่เกิดขึ้นมานี้ จะคงอยู่ในร่างกายตลอดชีวิต ซึ่งจะทำให้บุคคลผู้นั้นไม่สามารถรับเลือด กรุ๊ป $Rh^+$ (Positive) ได้อีก จะรับได้เฉพาะเลือดกรุ๊ป $Rh^-$ (Negative) เท่านั้น

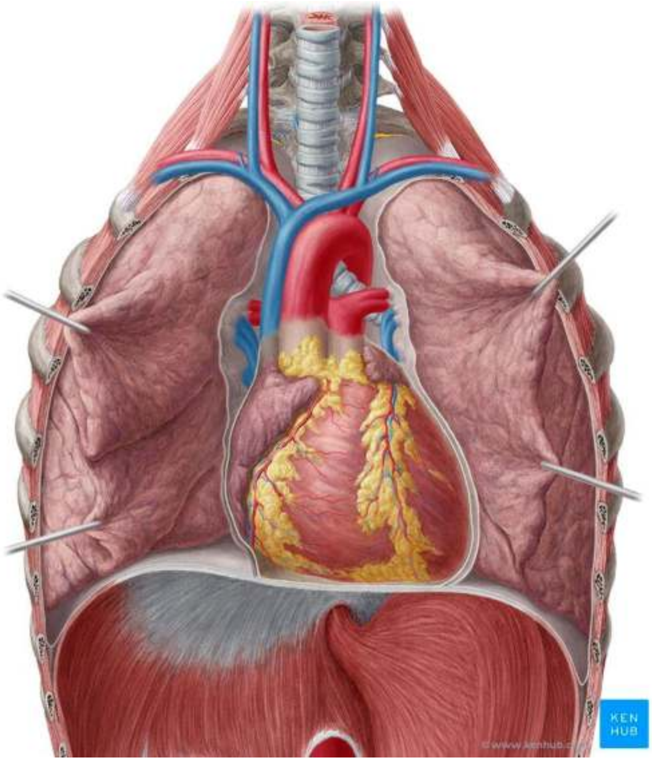
*****************************************

# ตอนที่ 2
# หัวใจ (The Heart)

เซลล์จะมีชีวิตและสามารถทำงานได้ปกติเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีปริมาณของสารต่างๆ ที่อยู่รอบเซลล์ รวมทั้งอุณหภูมิที่เหมาะสม เนื่องจากเซลล์ใช้และขับสารต่างๆ ตลอดเวลา การจะคงสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อเซลล์ดังกล่าวได้ ต้องอาศัยการไหลเวียนของเลือดผ่านเซลล์ตลอดเวลา เพื่อนำอาหาร ออกซิเจน และสิ่งจำเป็นสำหรับเซลล์ พร้อมกับนำสารที่เซลล์ขับออกหรือเกินความต้องการออกไปกับกระแสเลือด ด้วยเหตุนี้ระบบไหลเวียนเลือดจึงมีความจำเป็นต่อชีวิตและการทำงานของร่างกาย การไหลเวียนของเลือดเกิดจะขึ้นได้ ต้องอาศัยการทำงานของหัวใจบีบตัวดันเลือดให้ไหลไปตามหลอดเลือดซึ่งแยกแขนงไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย

## 2.1 โครงสร้างและหน้าที่ของหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะกล้ามเนื้อกลวง ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดไปตามหลอดเลือด หัวใจจะบีบตัวประมาณ 75 ครั้ง/นาที เลือดจะไหลผ่านไปตามแขนงของหลอดเลือดแดง (artery) ผ่านไปตามหลอดเลือดแดงที่มีขนาดเล็กลง (arteriole) ไปจนถึงหลอดเลือดฝอย (capillary) ไปเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อ ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ ของเสียจากเซลล์และเนื้อเยื่อ จะกลับเข้าสู่หลอดเลือด ไหลกลับไปตามสาขาของหลอดเลือดดำ ซึ่งจะนำกลับเข้าสู่หัวใจ ขณะที่เลือดไหลเวียนอยู่นี้ อวัยวะต่างๆ ของร่างกายจะรับวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในการซ่อมแซมเพื่อการเจริญเติบโต และเพื่อการทำงานของอวัยวะนั้นไปจากเลือด เช่น สมองต้องการออกซิเจนและกลูโคส การหดตัวของกล้ามเนื้อ การทำงานเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้เพราะหัวใจสูบฉีดเลือดอยู่ตลอดเวลา

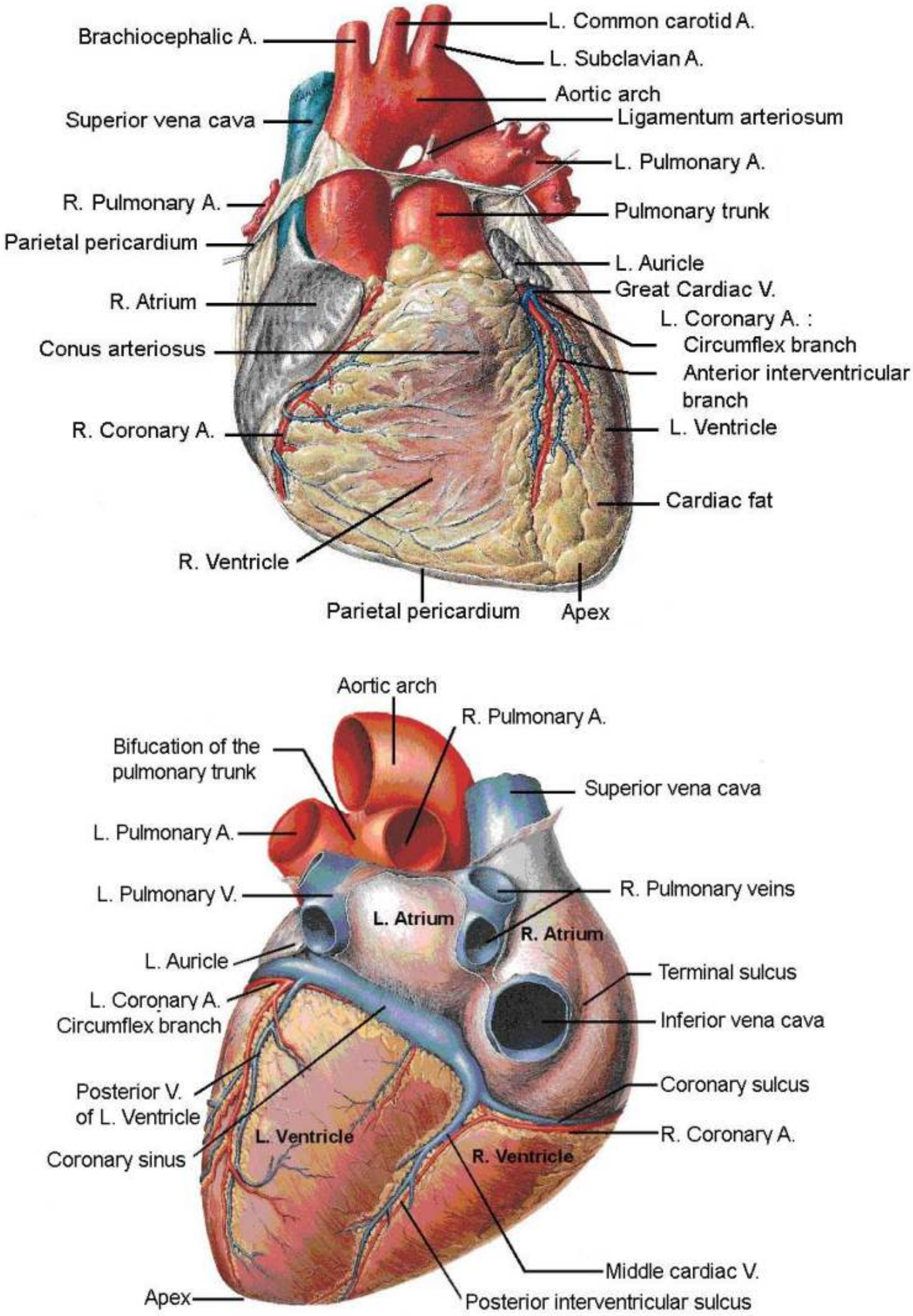



รูปที่ 8-12 แสดงตำแหน่งของหัวใจและอวัยวะที่เกี่ยวข้อง

### 2.1.1 ขนาดและตำแหน่งของหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ ภายในกลวง มีขนาดโตกว่ากำมือเจ้าของเล็กน้อย หัวใจวางอยู่เหนือกระบังลม ภายในช่องเนื้อกลางอก ซึ่งอยู่ระหว่างปอดทั้งสองข้าง ประมาณ 2 ใน 3 ของหัวใจจะเอียงไปทางด้านซ้ายของแนวกลางตัวของร่างกาย

ในผู้ใหญ่ หัวใจมีขนาดกว้างประมาณ 9 ซม. ยาวประมาณ 12 ซม. หนาประมาณ 6 ซม. ส่วนยอด (apex) อยู่ทางด้านล่างค่อนไปทางซ้าย ส่วนฐาน (base) กว้างกว่า อยู่ด้านบนค่อนไปทางขวา




รูปที่ 8-13 แสดงกายวิภาคของหัวใจทางด้านหน้า (บน) และด้านหลัง (ล่าง) A=Artery, V=Vein, R=Right, L=Left

**2.1.2 เยื่อหุ้มหัวใจ (Pericardium)** หัวใจถูกหุ้มด้วยเยื่อหุ้มหัวใจ เรียกว่า Pericardium มี 2 ชั้น ได้แก่

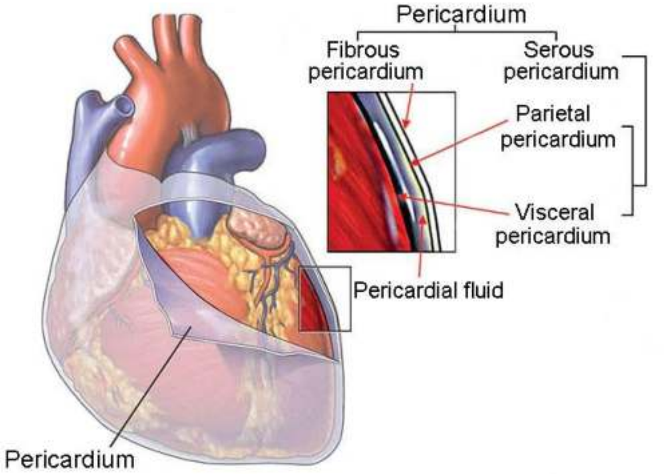
**1) Fibrous pericardium** มีลักษณะหยาบ เหนียว คล้ายกับถุงซึ่งใส่หัวใจไว้ภายใน ทางด้านล่างยึดติดกับกระบังลมและต่อเนื่องไปกับผนังชั้นนอกของหลอดเลือดที่เข้าและออกจากหัวใจ ซึ่ง Fibrous pericardium จะมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้หัวใจถูกยืดขยายมากเกินไป ปกป้องหัวใจและยึดหัวใจให้อยู่ภายใน Mediastinum cavity

**2) Serous pericardium** มีลักษณะบางและลื่นกว่า แยกออกเป็น 2 ชั้นย่อย ได้แก่

=> **ชั้นนอก เรียกว่า Parietal layer** ซึ่งจะอยู่แนบชิดติดกับ Fibrous pericardium

=> **ชั้นใน เรียกว่า Visceral layer** จะคลุมติดกับผิวทางด้านนอกของหัวใจ ซึ่งอาจจะถือว่าเป็นผนังหัวใจชั้นในสุดที่เรียกว่า **Epicardium** ก็ได้

ระหว่างเยื่อหุ้มหัวใจชั้น Parietal layer กับ Visceral layer จะมีช่องว่างเรียกว่า **Pericardial cavity** ซึ่งภายในจะมีของเหลวเรียกว่า Pericardial fluid อยู่จำนวนเล็กน้อย เพื่อหล่อลื่นขณะหัวใจบีบตัว



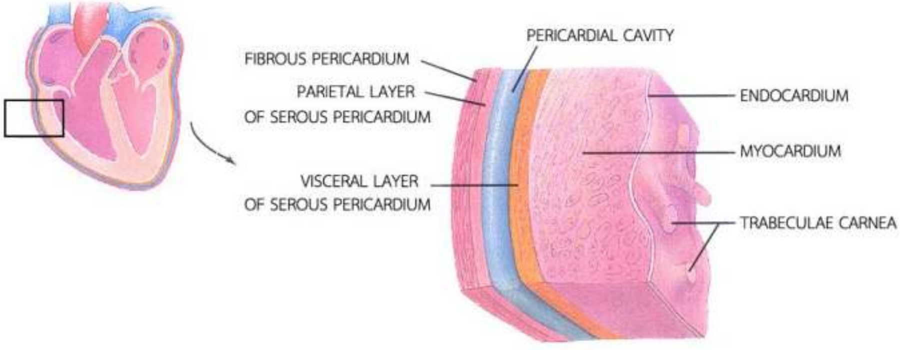

รูปที่ 8-14 แสดงเยื่อหุ้มหัวใจ

**2.1.3 ผนังหัวใจ (Heart wall)** ประกอบไปด้วย 3 ชั้น คือ

=> **Epicardium** อยู่ด้านนอกสุด ประกอบด้วยชั้นบางใสของ mesothelium และไขมันที่หุ้มหลอดเลือด

=> **Myocardium** เป็นผนังชั้นกล้ามเนื้อหัวใจ อยู่ตรงกลาง ประกอบไปด้วยเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เรียงตัวสานกันจนหนา ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

=> **Endocardium** เป็นผนังหัวใจชั้นในสุด ประกอบด้วยเซลล์ endothelium บุติดต่อไปโดยตลอดกับเยื่อบุผิวภายในหลอดเลือดที่เข้าและออกจากหัวใจ



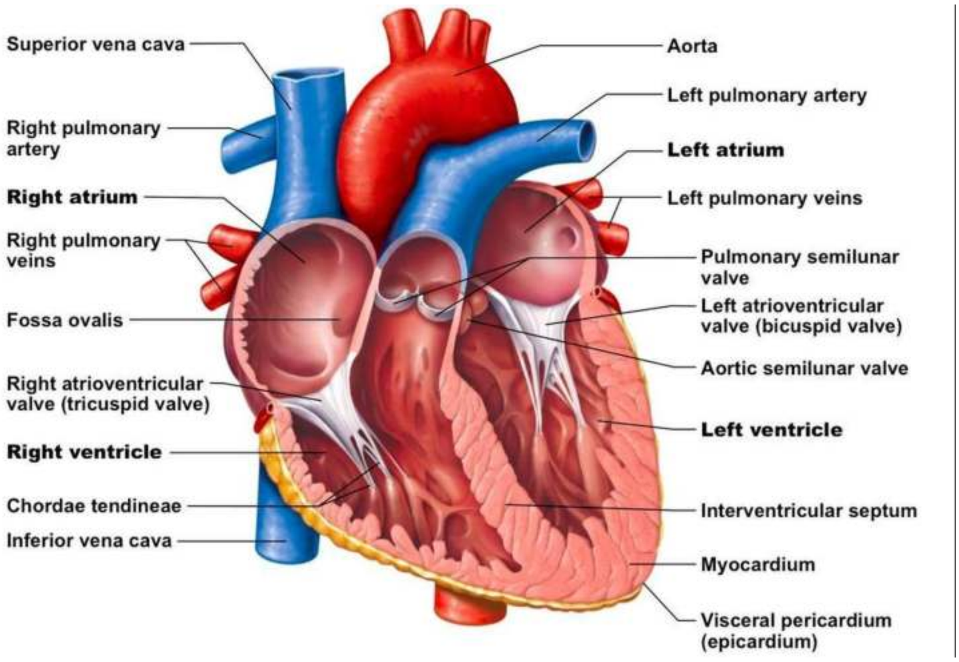

รูปที่ 8-15 แสดงเยื่อหุ้มหัวใจ และผนังหัวใจ

### 2.1.4 ห้องหัวใจ (Chamber of the heart)

ภายในหัวใจแบ่งออกเป็น 4 ห้อง (Chamber) 2 ห้องบน เรียกว่า **Right atrium** (ห้องบนขวา) และ **Left atrium** (ห้องบนซ้าย) ส่วน 2 ห้องล่าง เรียกว่า **Right ventricle** (ห้องล่างขวา) และ **Left ventricle** (ห้องล่างซ้าย)

ผนังที่กั้นแบ่ง Atrium ออกเป็นห้องบนซ้าย - ห้องบนขวา เรียกว่า **Interatrial septum** ซึ่งจะพบรอยหวำรูปไข่เรียกว่า Fossa ovalis อยู่ที่ผนังทางด้านขวาด้วย ส่วนผนังที่กั้น Ventricle ออกเป็นห้องล่างซ้าย-ห้องล่างขวา เรียกว่า **Interventricular septum**

**1) Right atrium (ห้องบนขวา)** มีขนาดใหญ่กว่า Left atrium ผนังบางกว่า มีส่วนยื่นเล็กๆ ออกไปทางด้านหน้าคล้ายใบหูสุนัข เรียกว่า Auricle มีหลอดเลือดดำใหญ่มาเปิดเพื่อนำเลือดดำจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเข้าสู่ Right atrium 2 เส้น คือ **Superior vena cava** และ **Inferior vena cava** นอกจากนั้นมีหลอดเลือดดำ ที่นำเลือดมาจากหัวใจมาเทเข้า เรียกว่า **Coronary sinus** จาก Right atrium จะมีการติดต่อกับ Right ventricle โดยมีลิ้นหัวใจกั้นอยู่ เรียกว่า Right atrioventricular valve (Tricuspid valve)




รูปที่ 8-16 แสดงโครงสร้างในหัวใจห้องต่าง ๆ

**2) Right ventricle (ห้องล่างขวา)** เป็นส่วนที่อยู่ล่างต่อ Right atrium จะมีหลอดเลือด Pulmonary artery ต่อออกไปจาก Right ventricle โดยมีลิ้นหัวใจชื่อ Pulmonary semilunar valve กั้นไม่ให้เลือดที่บีบออกจาก Right ventricle ไหลย้อนกลับ ผนังของ Right ventricle จะหนากว่าผนังของ Right atrium มาก แต่จะบางกว่าผนังของ Left ventricle ประมาณ 1/3 เท่า ผนังด้านในจะเห็นกล้ามเนื้อมีลักษณะเป็นแท่งประสานกัน แยกเป็น 2 ชนิด คือ Trabeculae carneae มีลักษณะเป็นเส้นนูน อยู่ที่ผนังของ ventricle อีกชนิดคือ papillary muscle จะมีปลายอีกข้างหนึ่งติดกับผนัง อีกปลายหนึ่งจะมีเส้นเอ็นเล็กๆ เรียกว่า chordae tendineae ติดอยู่ chordae tendineae มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย ปลายหนึ่งติดที่ papillary muscle อีกปลายหนึ่งติดกับขอบลิ้นของหัวใจและช่วยกันไม่ให้ลิ้นหัวใจ tricuspid ถูกดันไปทาง right atrium

**3) Left atrium (ห้องบนซ้าย)** มีผนังหนากว่า Right atrium รับเลือดที่กลังจากปอดโดยมีหลอดเลือด Pulmonary veins จำนวน 4 เส้น มาเปิดเข้าทางด้านหลัง เพื่อนำเลือดจากปอดกลับสู่หัวใจ ด้านล่างมีทางติดต่อกับ Left ventricle โดยมีลิ้นหัวใจชื่อ left atrioventricular valve (Bicuspid, Mitral valve) กั้นอยู่

**4) Left ventricle (ห้องล่างซ้าย)** ผนังหนามากที่สุด และทางด้านในจะมีกล้ามเนื้อเรียงตัวเหมือนใน right ventricle ส่วนล่างสุดจะตรงกับ apex ของหัวใจ จาก Left ventricle จะมีหลอดเลือดแดง Aorta ซึ่งเป็นหลอดเลือดแดงใหญ่ที่สุด ต่อออกไปเพื่อนำเลือดออกไปจากหัวใจไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยมีลิ้นหัวใจชื่อ Aortic semilunar valve กั้นอยู่ เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของเลือดจาก Aorta กลับสู่ Left ventricle ในขณะที่หัวใจคลายตัว

### 2.1.5 ลิ้นหัวใจ (Valves of the heart)

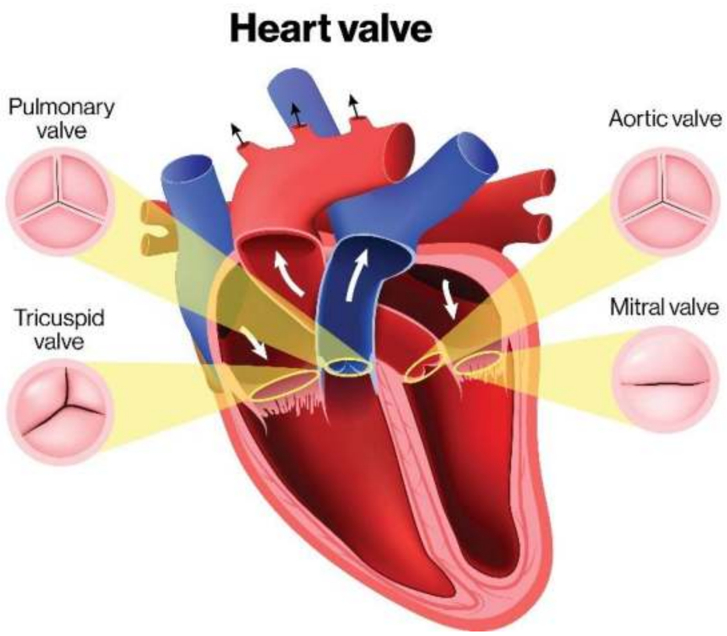
ลิ้นหัวใจ ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางไหลของเลือด ให้ไหลผ่านหัวใจไปในทิศทางเดียว คือจากด้านหลอดเลือดดำไปยังหลอดเลือดแดง ลิ้นหัวใจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

**1) Atrioventricular valves (AV valve)** เป็นลิ้นที่กั้นอยู่ระหว่าง Atrium กับ Ventricle มี 2 ลิ้น คือ

- **Tricuspid valve** ลิ้นมีลักษณะเป็น 3 แฉก กั้นอยู่ระหว่าง Right atrium และ Right ventricle
- **Bicuspid (Mitral) valve** ลิ้นมีลักษณะเป็น 2 แฉก กั้นอยู่ระหว่าง Left atrium และ Left ventricle

**2) Semilunar valves** เป็นลิ้นที่กั้นระหว่างหัวใจและของหลอดเลือดแดงที่ต่อกับหัวใจ ซึ่งจะยอมให้เลือดผ่านออกจากหัวใจไปสู่หลอดเลือดแดงได้ แต่จะไม่ยอมให้เลือดจากหลอดเลือดแดงไหลย้อนกลับเข้าสู่หัวใจในขณะที่ Ventricle คลายตัว มี 2 ลิ้น คือ

- **Pulmonary semilunar valve** กั้นระหว่างหลอดเลือดแดง Pulmonary trunk กับ Right ventricle
- **Aortic semilunar valve** กั้นระหว่างหลอดเลือดแดง Aorta กับ Left ventricle

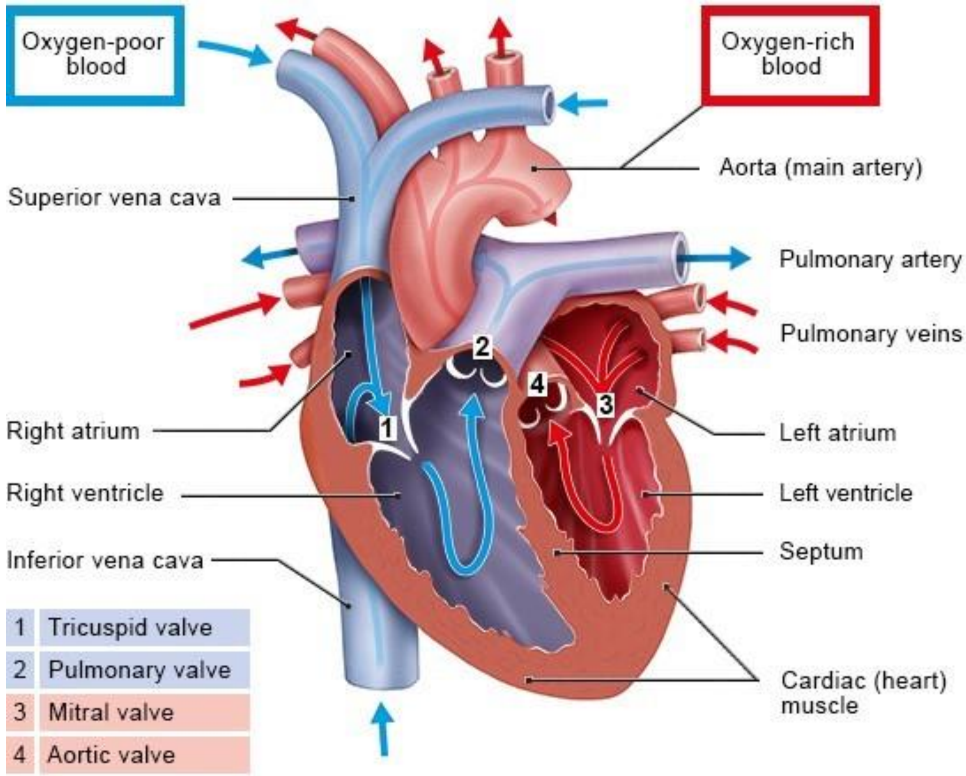



รูปที่ 8-17 แสดงลักษณะของลิ้นหัวใจ (Valves of the heart)

### 2.1.6 การไหลเวียนเลือดผ่านหัวใจ

Right atrium จะรับเลือดดำ (deoxygenated blood) จากส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และต่อมาจะไหลลงสู่ Right ventricle จากนั้น Right ventricle จะบีบตัวเพื่อดันเลือดเข้าสู่หลอดเลือดแดง pulmonary artery เพื่อนำเลือดไปยังปอดแต่ละข้าง และเมื่อเลือดผ่านหลอดเลือดฝอยของปอด (pulmonary capillary) จะมีการปล่อย $CO_2$ ออกไปและรับเอา $O_2$ เข้ามา ซึ่งเลือดในขณะนี้ เรียกว่า **oxygenated blood** จะกลับเข้าสู่หัวใจทาง Left atrium ทางหลอดเลือดดำ pulmonary veins จากนั้นเลือดจาก Left atrium จะไหลลงสู่ Left ventricle และต่อมา Left ventricle จะบีบตัวเพื่อดันเลือดออกสู่ ascending aorta (aorta ขาขึ้น) arch of aorta (aorta ส่วนโค้ง) และ descending aorta (aorta ขาลง) ตามลำดับเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และเมื่อเลือดที่ไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายสูญเสีย $O_2$ และรับเอา $CO_2$ เข้ามา เรียกเลือดในขณะนี้ว่า **deoxygenated blood** ซึ่งจะกลับเข้าสู่หัวใจ Right atrium ทางหลอดเลือดดำ 3 เส้น คือ

- **Superior vena cava (SVC) :** นำเลือดดำจากส่วนบนของร่างกายกลับสู่ Right atrium
- **Inferior vena cava (IVC) :** นำเลือดดำจากส่วนล่างของร่างกายกลับสู่ Right atrium
- **Coronary sinus :** นำเลือดที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อผนังหัวใจเองกลับเข้า Right atrium




รูปที่ 8-18 แสดงลิ้น (Valves) ของหัวใจ และการไหลเวียนเลือดผ่านหัวใจ

### 2.1.7 หลอดเลือดของหัวใจ

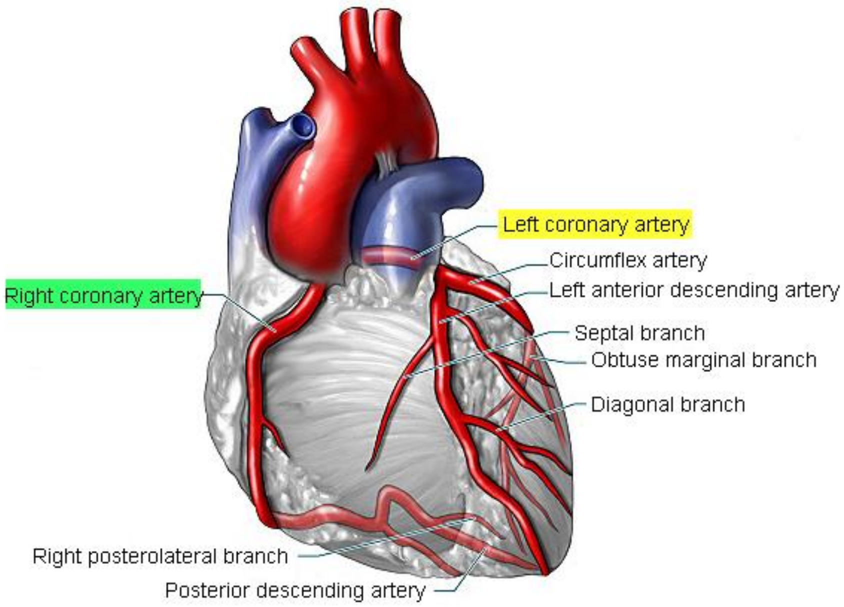
ผนังของหัวใจจะมีหลอดเลือดเป็นของตนเองมาเลี้ยง เพราะสารอาหารและ $O_2$ ไม่สามารถจะแพร่ผ่านจากภายในห้องหัวใจออกมาสู่ผนังหัวใจ ซึ่งประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เรียงซ้อนกันหลาย ๆ ชั้นได้ โดยหลอดเลือดแดงที่มาเลี้ยงผนังกล้ามเนื้อหัวใจ เรียกว่า **coronary arteries** ซึ่งแตกแขนงออกมาจากหลอดเลือด ascending aorta จำนวน 2 เส้น คือ

**1) Left coronary artery** ซึ่งจะผ่านมาทางด้านล่างของ left auricle แล้วแตกออกเป็น 2 แขนง

- Anterior interventricular branch ไปเลี้ยงผนัง ventricle ทั้งซ้าย-ขวา และ Interventricular septum
- Circumflex branch ไปเลี้ยงผนัง left ventricle และ left atrium

**2) Right coronary artery** จะผ่านมาทางด้านล่างของ right auricle และแตกออกเป็น 2 แขนงคือ

- Marginal branch ไปเลี้ยง right ventricle
- Posterior interventricular branch ไปเลี้ยง right และ left ventricle




รูปที่ 8-19 แสดงหลอดเลือดแดงที่มาเลี้ยงหัวใจ

เลือดแดงจาก coronary arteries ที่ไปเลี้ยงผนังกล้ามเนื้อหัวใจหลังจากนำอาหารและ $O_2$ ไปส่งให้และรับเอา $CO_2$ มาแทน ซึ่งจะกลับเข้าสู่ Right atrium ทางหลอดเลือดดำ coronary sinus ที่รับเลือดดำจากแขนงต่าง ๆ อีกต่อหนึ่ง คือ

- Great cardiac vein รับเลือดดำจากผนังหัวใจทางด้านหน้า ไปเทเข้า coronary sinus
- Middle cardiac vein รับเลือดดำจากผนังหัวใจทางด้านหลัง ไปเทเข้า coronary sinus

### 2.1.8 เส้นประสาทที่มาเลี้ยงหัวใจ (Nerve supply)

ถึงแม้ว่าหัวใจสามารถเต้นได้เองโดยอัตโนมัติ แต่อัตราการเต้นและความแรงจะถูกปรับแต่งโดยระบบประสาทอัตโนมัติ คือ

=> Sympathetic nerve : ทำให้หัวใจเต้นเร็วและแรงขึ้น

=> Parasympathetic nerve (Vagus nerve) : ทำให้หัวใจเต้นช้าและเบาลง

### 2.1.9 คุณสมบัติของกล้ามเนื้อหัวใจ

คุณสมบัติของกล้ามเนื้อหัวใจ มีดังนี้

=> Excitability : สามารถตื่นตัวได้เมื่อถูกกระตุ้น

=> Contractility : สามารถหดตัวได้

=> Conductivity : สามารถนำสื่อไฟฟ้าได้

=> Rhythmicity : สามารถหดตัวได้เป็นจังหวะสม่ำเสมอ

=> Automaticity : สามารถหดตัวได้โดยอัตโนมัติ

## 2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวใจ

กล้ามเนื้อหัวใจมีคุณสมบัติที่สำคัญมี 3 ประการ คือ 1) หัวใจสามารถสร้างคลื่นไฟฟ้ากระตุ้นหัวใจเอง โดยอัตโนมัติ 2) คลื่นไฟฟ้า (action potential) ที่เกิดขึ้นที่เซลล์หนึ่งสามารถไปกระตุ้นเซลล์อื่นต่อไปได้โดยตรง และ 3) action potential แต่ละคลื่นของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีระยะเวลายาวนาน ทำให้กล้ามเนื้อหัวใจไม่หดตัวแบบ เป็นตะคริว (tetanus) เมื่อถูกกระตุ้นซ้ำๆ กัน

### 2.2.1 เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

คุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ เหล่านี้ทำให้การบีบตัว (systole) และคลายตัว (diastole) ของหัวใจเกิดขึ้นเป็นจังหวะสลับกันไปอย่างต่อเนื่อง หัวใจมีคุณสมบัตินี้ได้เนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจ ประกอบด้วยเซลล์สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่

**1) Cardiac muscle fibers (cells)** ประกอบขึ้นเป็นผนังของ atria และ ventricles หดตัวเมื่อถูกกระตุ้น เนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าระหว่างเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีค่าต่ำ การนำไฟฟ้าจึงแพร่ไปได้อย่างรวดเร็วระหว่างเซลล์หนึ่งไปสู่เซลล์ที่อยู่ติดๆกันต่อๆไป มีผลให้การหดตัวของเซลล์เหล่านี้เกิดขึ้นพร้อมกันดุจเป็นเซลล์ๆเดียว เรียกคุณสมบัตินี้ว่า **syncytium**

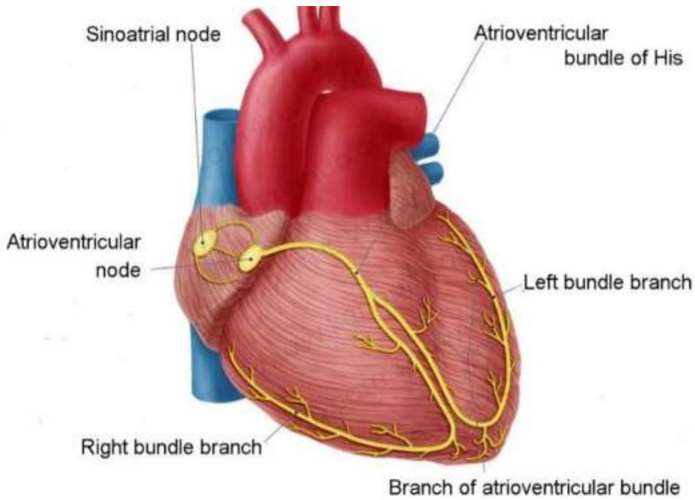
**2) Nodal cells (Pacemaker) cells** เป็นเซลล์กลุ่มพิเศษที่สามารถสร้างคลื่นไฟฟ้าได้โดยอัตโนมัติพบที่

=> Sinoatrial node (SA node) ซึ่งอยู่บริเวณ atrium ขวาใกล้กับ superior vena cava และ

=> Atrioventricular node (AV node) อยู่บริเวณใกล้ผนังกั้นระหว่าง atrium ทั้งสอง และอยู่ตรงบริเวณรอยต่อระหว่าง atria และ ventricles

โดยปกติ SA node เป็นตัวสร้างคลื่นไฟฟ้าซึ่งจะส่งต่อไปยังเซลล์อื่นๆ รวมทั้ง AV node

**3) Conducting cells** เป็นกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่นำคลื่นไฟฟ้าในหัวใจ คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่เกิดใน atrium เมื่อมาถึง AV node จะถูกส่งต่อไปยัง ventricle โดยผ่าน Atrioventricular bundle (AV bundle, bundle of His) จากนั้นแตกแขนงซ้าย-ขวา (bundle branch) ลงสู่ผนังที่กั้นระหว่าง ventricle แล้วแตกแขนงเป็นร่างแห เรียกว่า Purkinje fiber นำไฟฟ้าเข้าสู่กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของ ventricle




ลำดับตำแหน่งต่างๆ ของหัวใจที่ถูกกระตุ้น

↓

Sinus node

↓

Atria

↓

Atrioventricular node

↓

His-Purkinje system

รูปที่ 8-20 แสดงกลุ่มเซลล์ของกล้ามเนื้อหัวใจ และลำดับตำแหน่งต่างๆ ของหัวใจที่ถูกกระตุ้น

### 2.2.2 ลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมี Resting membrane potential (ศักย์ไฟฟ้าขณะพัก) ประมาณ -90 มิลลิโวทย์ (mV.) โดยมีด้านภายในเซลล์มีค่าเป็นลบ เมื่อเปรียบเทียบกับด้านนอกเซลล์ เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นจะเกิดลำดับขั้นตอนดังนี้

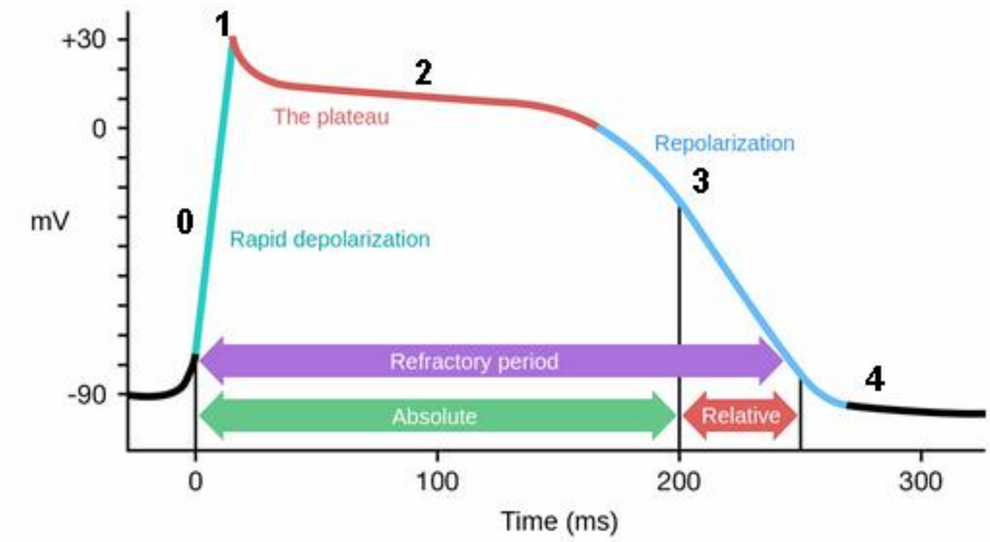
**Phase 0 (Depolarization)** เมื่อเยื่อเซลล์ถูกเร้า ทำให้ศักดิ์ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง (เป็นลบน้อยลง) อย่างรวดเร็ว กระทั่งถึงระดับ threshold (ประมาณ -65 mV) จะเกิด action potential ในทันที ซึ่งเป็นผลจากการที่ผนังเซลล์ยอมให้มีการผ่าน (permeability) ของโซเดียมอย่างรวดเร็ว ทำให้โซเดียมกรูเข้าเซลล์โดยผ่านช่องทางของโซเดียม (fast $Na^+$ channel) ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์อาจสูงขึ้นไปถึง +20 ถึง +40 mV คือมี overshoot การเกิด depolarization ซึ่งรวม overshoot นี้เรียกว่า phase O

**Phase 1 (Rapid repolarization)** เยื่อเซลล์จะเริ่มกลับสู่สภาวะเดิม โดยยอมให้โซเดียมผ่านได้น้อย เรียก ว่า $Na^+$ inactivation ในเวลาใกล้เคียงกันนั้นเยื่อเซลล์ยอมให้โปตัสเซี่ยมสูงขึ้น ทำให้โปตัสเซี่ยมภายในเซลล์เคลื่อนออกสู่ภายนอก การเปลี่ยนแปลงนี้มีผลทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์กลับลดลง (repolarization) เล็กน้อยแต่ ค่อนข้างรวดเร็ว

**Phase 2 (Plateau)** หลังจาก phase 1 การเกิด repolarization จะดำเนินต่อไปค่อนข้างช้ามาก ทำให้มีช่วง repolarization ยาวนานจนเป็นลักษณะแบนราบ (plateau) ทั้งนี้เกิดจากเยื่อเซลล์ยอมให้แคลเซี่ยมไหลผ่านเข้าเซลล์อย่างช้าๆ ทางช่องทางของ $Ca^{++}$ (slow $Ca^{++}$ channel) ขณะที่เยื่อเซลล์ยอมให้โปตัสเซี่ยมผ่านได้ลดลง (ช่วงนี้การผ่านเยื่อเซลล์ของโซเดียมไม่เปลี่ยนแปลง หรืออาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย) ผลลัพธ์คือ ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จึงเห็นเป็นพื้นราบหรือ Plateau curve

**Phase 3 (Repolarization)** เป็นระยะที่แคลเซี่ยมหยุดเข้าเซลล์และมีการไหลออกของโปตัสเซี่ยมออกนอกเซลล์ ทำให้เกิด repolarization อย่างรวดเร็ว

**Phase 4 (Recovery)** หรือ resting potential เป็นระยะกลับคืนสู่ปกติของไอออนซึ่งเป็นระยะ repolarization อย่างสมบูรณ์ โดยภายในเซลล์จะมีค่าเป็นลบเหมือนเดิม




รูปที่ 8-21 แสดง phase ของ Action potential ของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ และระยะพักของหัวใจ

### 2.2.3 การนำไฟฟ้าหัวใจ

Depolarization ซึ่งเกิดขึ้นที่ SA node จะกระตุ้น เซลล์อื่นๆ ที่อยู่ข้างเคียงมีผลให้เกิดคลื่นไฟฟ้าแผ่ไปทั่ว atria จาก atria คลื่นไฟฟ้าจะวิ่งผ่าน AV node ซึ่ง ณ บริเวณนี้ความเร็วการนำไฟฟ้าจะช้าลง จากนั้นคลื่นไฟฟ้าจะวิ่งต่อไป ผ่าน bundle of His และแขนงของมันไปยัง Purkinje fibers สู่กล้ามเนื้อทั่ว ventricles

ความเร็วการนำไฟฟ้าในบริเวณนี้ก็ช้าที่สุดที่ AV node จึงเป็น บริเวณที่เกิด AV block ได้ง่ายที่สุด เมื่อคลื่นไฟฟ้าเมื่อผ่านพ้น AV node ได้ จะเข้าสู่ bundle of His และแขนงของมัน โดยมีความเร็วการนำไฟฟ้าเพิ่มเป็น 3-4 เมตร/วินาที ลักษณะของ action potential ก็เปลี่ยนไปคือมี depolarization (phase 0) เกิดขึ้นเร็ว มี amplitude สูง และ duration ยาวนาน (repolarization กินเวลานาน) เมื่อคลื่นไฟฟ้าเข้าสู่กล้ามเนื้อของ ventricles ความเร็วการนำไฟฟ้ากลับช้าลง เหลือประมาณ 1 เมตร/วินาที อาจเพราะใยกล้ามเนื้อมีขนาดเล็กกว่า แต่มีกิ่งแขนงมากกว่าใน bundle of His และแขนงของมัน

### 2.2.4 ระยะพักของกล้ามเนื้อหัวใจ

ความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น (excitability) ของกล้ามเนื้อจะเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการบีบตัวของหัวใจ พบว่าถ้ากระตุ้นหัวใจในระยะที่กำลังบีบตัว แม้ว่าจะใช้ความแรงสักเท่าใดก็ตาม หัวใจจะไม่ตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นเลย ระยะนี้เรียกว่า **Absolute refractory period (ARP)** ต่อมาเมื่อหัวใจเริ่มคลายตัว กล้ามเนื้อหัวใจจะค่อย ๆ มีการตอบสนองบ้าง และต้องใช้การกระตุ้นที่แรงขึ้น การตอบสนองได้ระยะนี้เรียกว่า **Relative refractory period (RRP)**

จากการที่ระยะเวลาของ absolute refractory period ในกล้ามเนื้อหัวใจยาว จึงไม่สามารถกระตุ้นให้หัวใจเกิด Tetanus (ตะคริว) ได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตอยู่

### 2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อความถี่ action potential ของ nodal cells

อัตราเต้นของหัวใจขึ้นกับความถี่ของ action potential ที่สร้างจาก pacemaker (SA node) ส่งไปกระตุ้นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ แม้ว่า SA node สามารถสร้างคลื่นไฟฟ้าได้เอง แต่ความถี่คลื่นไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงได้ด้วยปัจจัยหลายประการ เช่น โดยอิทธิพลของเส้นประสาทและฮอร์โมนจากภายนอกที่มายังหัวใจ รวมทั้งอุณหภูมิและไอออนบางตัว ปัจจัยใดที่สามารถเพิ่มหรือลดความถี่คลื่นไฟฟ้าจาก SA node ย่อมทำให้อัตราเต้นของหัวใจเพิ่มหรือลดด้วย โดยปัจจัยนั้นไปมีผลต่อศักย์ ไฟฟ้าของ pacemaker ดังนี้

1. ระดับ resting potential
2. ระดับ threshold potential
3. ความชัน (slope) ของ pacemaker potential

การเปลี่ยนแปลงข้อใดข้อหนึ่ง หรือหลายข้อดังกล่าวย่อมมีผลต่อช่วงเวลาที่ศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนจากระดับพัก (resting potential) ไปยังระดับ threshold ดังนั้นจึงมีผลต่อความถี่คลื่นไฟฟ้าจาก SA node

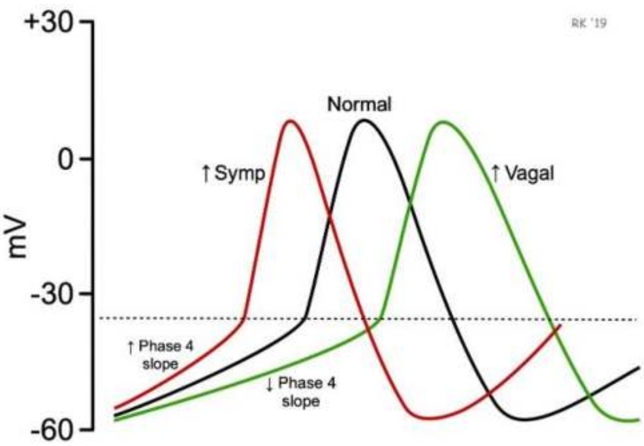
**ผลของอะเซติลโคลีน (acetylcholine, Ach) และเส้นประสาทเวกัส (vagus)**

การกระตุ้นเส้นประสาทเวกัส หรือให้อะเซติลโคลีน มีผลลดอัตราเต้นของหัวใจ (bradycardia) หากแรงกระตุ้นมากพอก็อาจทำให้หัวใจหยุดเต้นได้ ทั้งอะเซติลโคลีน และเวกัส มีผลต่อเซลล์ pacemaker ดังนี้ 1) ทำให้ repolarization เกิดเร็วขึ้น 2) เกิด hyperpolarization และ 3) ความชันของ pacemaker potential ลดลง

ผลคือ การเกิด action potential แต่ละอันต้องใช้เวลานานขึ้น ความถี่จึงลดลง โดยฤทธิ์ของ Ach คือไปเพิ่มความสามารถในการผ่านของโปตัสเซี่ยมที่เยื่อเซลล์

**ผลของ epinephrine หรือ norepinephrine และเส้นประสาทซิมพาเทติก**

ถ้าให้ epinephrine หรือ norepinephrine แก่หัวใจ หรือกระตุ้นเส้นประสาทซิมพาเทติกที่มายังหัวใจ จะทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น (tachycardia) สาเหตุสำคัญเนื่องจาก pacemaker potential มีความชันมากขึ้น




รูปที่ 8-22 แสดงความชัน (slope) ของ pacemaker potential สีแดง : มีความชันสูงขึ้นเมื่อประสาทซิมพาเทติกถูกกระตุ้น, สีดำ : มีความชันลดลง เมื่อประสาทพาราซิมพาเทติกถูกกระตุ้น

**ผลของไอออน**

หากสารละลายภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นของโปตัสเซี่ยมต่ำ ทำให้ความชันของ pacemaker potential สูงขึ้น ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ขณะพักมีค่าเป็นลบน้อยลง และระดับ threshold ต่ำลง ทั้งหมดนี้ทำให้ SA node สร้างคลื่นไฟฟ้าออกไปได้ด้วยความถี่สูงขึ้น นอกจากนี้การลดโปตัสเซี่ยม ยังทำให้ Purkinje system มีแนวโน้มกลายเป็น pacemaker จึงมีผลทำให้เกิด extrasystole ได้ง่าย หากสารละลายภายนอกเซลล์มีโปตัสเซี่ยมสูง จะให้ผลตรงข้ามคือความชันของ pacemaker potential ลดลง

**ผลของอุณหภูมิ**

หากทำให้อุณหภูมิทั่วหัวใจต่ำลงจะมีผลลดความถี่ คลื่นไฟฟ้าจาก SA node โดยลดความชันของ pacemaker potential หากอุณหภูมิต่ำมากอาจหยุดการสร้างคลื่น ไฟฟ้าของ SA node ได้ การเพิ่มอุณหภูมิมีผลเพิ่มความชันของ pacemaker potential หากอุณหภูมิสูงมากอาจเหนี่ยวนำให้ Purkinje fiber กลายเป็น pacemaker ได้เช่นเดียวกับผลของ epinephrine หรือ norepinephrine

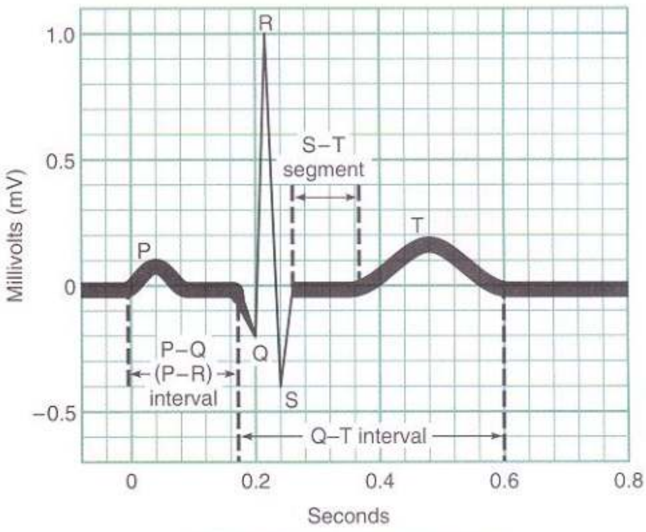
## 2.3 คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram, ECG, EKG)

เป็นการบันทึกศักย์ไฟฟ้าโดยการอาศัยหลักการที่ว่าการเกิด Depolarization และ Repolarization ของหัวใจที่มีจังหวะและความถี่ เท่ากับการเต้นของหัวใจโดยบันทึกได้จากขั้วไฟฟ้าที่วางบนผิวนอกของร่างกาย การบันทึก EKG มักจัดให้ศักย์ไฟฟ้าของขั้ว electrode เป็นขั้วบวกเมื่อเกิด depolarization จะวิ่งเข้าหา electrode จะได้ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวตั้ง และเมื่อวิ่งออกจาก electrode จะได้ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวกลับ จากการศึกษาจะได้ภาพบันทึกประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้าซึ่งมีรูปแบบและขนาดต่าง ๆ กัน สุดแต่จะเป็น lead ใดแต่ลักษณะพื้นฐานของคลื่นไฟฟ้าเหล่านี้ อาจจำแนกออกได้เป็น 3 คลื่น คือ

**- P wave** คือ การเกิด Depolarization ของหัวใจห้องบน เริ่มตั้งแต่สัญญาณไฟฟ้า จาก S-A node แพร่เข้าสู่หัวใจห้องบน ขวา-ซ้าย และ AV node

**- QRS complex** คือ การเกิด Depolarization ของหัวใจห้องล่าง เริ่มตั้งแต่ Depolarization บริเวณ Interventricular system เคลื่อนไปสู่กล้ามเนื้อหัวใจห้องล่าง

**- T wave** คือการเกิด Repolarization ของหัวใจห้องล่างสำหรับ Repolarization ของ Atrium เราไม่พบเนื่องจากเกิดในช่วง Depolarization ของ Ventricle




รูปที่ 8-23 แสดงลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Lead II)

การบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ใช้เป็นมาตรฐานมีอยู่ 12 lead ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ ตามจำนวนขั้วบันทึกคือ

**Bipolar lead** ใช้ Electrode 2 อันแตะบนตำแหน่งของร่างกาย 2 แห่ง ตำแหน่งของร่างกายที่ถือว่าเป็นตำแหน่งมาตรฐานสำหรับวัด EKG แบบนี้คือ แขนขวา แขนซ้าย และขาซ้าย

ความแตกต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างคู่ Electrodes ที่แตะบนตำแหน่งดังกล่าว เรียกว่า Standard limb lead มี 3 leads คือ

- Lead I : แขนขวา (-), แขนซ้าย (+)
- Lead II : แขนขวา (-), ขาซ้าย (+)
- Lead III : แขนซ้าย (-), ขาซ้าย (+)

จากการวางขั้วบันทึกใน Limb lead นี้ทำให้เกิดรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ที่มีหัวใจอยู่ตรงกลาง เรียกว่า Einthoven’s triangle ทำให้ผลรวมของความสูงของ QRS complex จาก lead I และ lead III เท่ากับความสูงของ QRS complex จาก lead II

**Unipolar leads** เป็นการใช้ Electrode เพียงอันเดียว โดยทำให้ Electrode อีกอันเป็น Indifferent electrode คือมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ ประกอบด้วย

- Augmented lead ซึ่งมี 3 lead คือ aVR, aVL, aVF
- Chest lead (Precordial lead) ซึ่งมี 6 lead คือ V1, V2 ,V3,V4, V5, V6

ตำแหน่งการวาง Electrode ของ Chest lead

V1 ที่ช่องซี่โครงที่ 4 ขวาชิดขอบ Sternum

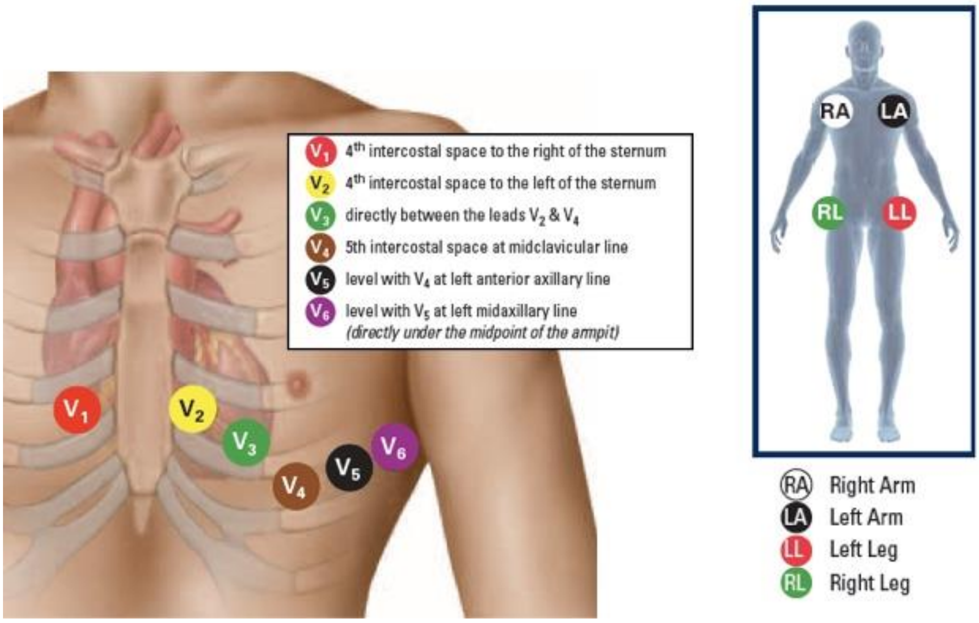
V2 ที่ช่องซี่โครงที่ 4 ซ้ายชิดขอบ Sternum

V3 อยู่บริเวณกึ่งกลางระหว่าง V2 และ V4

V4 ที่ช่องซี่โครงที่ 5 ตัดกับ Mid clavicular line

V5 ที่ช่องซี่โครงที่ 5 ตัดกับ Anterior axillary line

V6 ระดับเดียวกับ V4 และ V5 ตัดกับ mid axillary line




รูปที่ 8-24 แสดงการต่อขั้ว Electrode ใน Limb lead และ Chest lead (Precordial lead)

**ประโยชน์ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ**

ลักษณะของคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะแสดงถึงสภาพการทำงานของหัวใจโดยจะเปลี่ยนแปลงไปจากรูปร่างปกติเมื่อมีพยาธิสภาพที่หัวใจ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ wave หรือ Segment interval ใดก็จะขึ้นกับชนิดของความผิดนั้น ๆ ซึ่งสามารถบอกถึง

1. ความผิดปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ
2. ความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ
3. ความผิดปกติของขนาดกล้ามเนื้อหัวใจ
4. ความผิดปกติของกล้ามเนื้อหัวใจ
5. ความผิดปกติของสมดุลอิเล็กโทรลัยท์

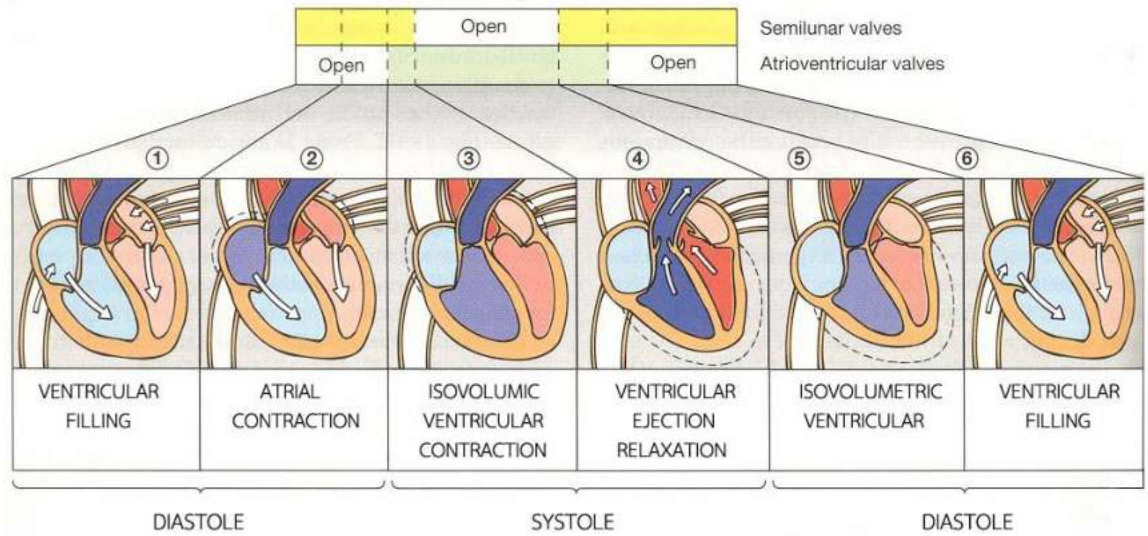
## 2.4 วงจรการทำงานของหัวใจ (Cardiac cycle)

หัวใจทำงานเปรียบเสมือนเครื่องสูบ (Pump) ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดไปทั่วร่างกายนำอาหารและสารต่าง ๆ ไปสู่เนื้อเยื่อขณะเดียวกันก็นำของเสียต่าง ๆ ที่เกิดจากการ metabolism เช่น $CO_2$ ไปกำจัดออกจากร่างกาย หัวใจทำงานโดยการบีบตัว (Systole) และคลายตัว (Diastole) สลับกันไปเรื่อย ๆ โดยอัตโนมัติ การบีบตัวและการคลายตัว 1 ครั้ง เรียกว่า 1 วงจร หรือ 1 Cardiac cycle

### 2.4.1 ลำดับเหตุการณ์ใน Cardiac cycle

**1. Ventricular filling** เป็นระยะที่ ventricle คลายตัว (diastole) ความดันภายใน ventricle ต่ำกว่าภายใน atrium ลิ้น A-V valve จึงเปิดให้เลือดไหลลงสู่ ventricle ตามแรงโน้มถ่วง (ประมาณ 70% ของเลือดที่ไหลลงสู่ ventricle)

**2. Atrial contraction** เป็นระยะที่ atrium บีบตัวทำให้ความดันภายใน atrium สูงขึ้นมีผลดันเลือดให้ไหลเข้าสู่ ventricle ได้มากขึ้นอีก (ประมาณ 30% ของเลือดที่ไหลลงสู่ ventricle)




รูปที่ 8-25 แสดงระยะต่าง ๆ ของ Cardiac cycle

**3. Isovolumetric ventricular contraction** เป็นระยะที่เริ่มมีการหดตัวของ ventricle ความดันภายใน ventricle เริ่มสูงขึ้นแต่ปริมาตรภายในยังไม่เปลี่ยนแปลงเพราะลิ้นทุกอันยังปิดสนิท (A-V valves ปิดเพราะความดันใน ventricle สูงกว่าใน atrium ส่วน semilunar valves ปิดเพราะความดันใน ventricle ยังต่ำกว่าความดันใน aorta และ pulmonary artery)

**4. Ventricular ejection** เป็นระยะที่มีเลือดออกจาก ventricle เพราะความดันใน ventricle จะสูงกว่าความดันในหลอดเลือด aorta และ pulmonary artery ลิ้น semilunar valves เปิดเลือดไหลออกจาก ventricle

**5. Isovolumetric ventricular relaxation** เป็นระยะที่เริ่มมีการคลายตัวของ ventricle เกิดขึ้นเมื่อหัวใจบีบตัวไล่เลือดออกสิ้นสุดแล้ว ความดันใน ventricle ก็จะลดต่ำกว่าในหลอดเลือด aorta และ pulmonary artery ลิ้น semilunar valves จึงถูกดันกลับมาปิด แต่ลิ้น A-V valves ยังไม่เปิดเพราะความดันใน ventricle ยังสูงกว่าใน atrium จึงยังไม่มีการเพิ่มปริมาตรเลือดใน ventricle

### 2.4.2 เสียงที่เกิดจากการทำงานของหัวใจ (Heart sound)

สาเหตุของการเกิดเสียงหัวใจเนื่องจากมีการสั่นสะเทือนของการปิดของลิ้นหัวใจและการไหลวนของเลือด หรือมีการเร่งหรือลดอัตราความเร็วของเลือดในขณะไหลผ่านในห้องต่าง ๆ ของหัวใจสามารถได้ยินเสียงโดยใช้ Stethoscope ส่วนใหญ่สามารถฟังได้แต่เสียงที่ 1 และเสียงที่ 2 เท่านั้น ส่วนเสียงที่ 3 และ 4 ต้องอาศัยเครื่องมือช่วยฟัง

**เสียงที่หนึ่ง (Lub)** เกิดระหว่างที่ Ventricle เริ่มบีบตัวตรงกับระยะ Isovolumetric Ventricular contraction จากการสั่นสะเทือนจากการปิดของลิ้น A-V valve

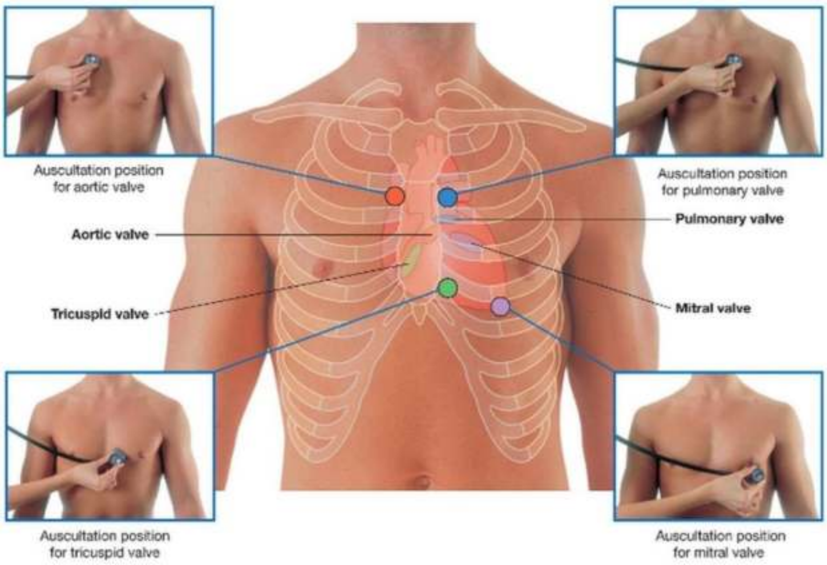
**เสียงที่สอง (Dub)** เกิดระหว่างที่ Ventricle เริ่มคลายตัวตรงกับระยะ Isovolumetric ventricular relaxation จากการปิดของลิ้น Semilunar valves มีระดับเสียงสูงกว่าเสียงที่ 1

**เสียงที่สาม** เกิดในช่อง Ventricle คลายตัว AV-valves เปิด เสียงนี้เกิดจากการไหลของเลือดจาก atrium ลงสู่ Ventricle โดยเปลี่ยนอัตราการไหลจากเร็วมาเป็นช้า ปกติมักไม่ได้ยินในผู้ใหญ่

**เสียงที่สี่** เกิดในขณะที่ Atrium บีบตัวดันเลือดออกจาก Atrium ลงสู่ Ventricle มักไม่ได้ยินต้องใช้เครื่องบันทึกเสียงหัวใจช่วยฟัง

ตำแหน่งที่ได้ยินเสียงหัวใจชัดเจน

- Pulmonary semilunar valve ฟังชัดเจนที่บริเวณช่องซี่โครงที่ 2 ข้างซ้ายชิดขอบกระดูก Sternum
- Aortic semilunar valve ฟังชัดเจนที่บริเวณช่องซี่โครงที่ 2 ข้างขวาชิดขอบกระดูก Sternum
- Tricuspid valve ฟังชัดเจนที่บริเวณช่องซี่โครงที่ 4 ข้างขวาชิดขอบกระดูก Sternum
- Mitral valve ฟังชัดเจนที่บริเวณ Apex ของหัวใจ




รูปที่ 8-26 แสดงตำแหน่งในการฟังเสียงหัวใจ

**Murmurs (เสียงหัวใจผิดปกติ)**

เป็นเสียงหัวใจผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการไหลของเลือดภายในหัวใจในขณะที่หัวใจมีการบีบตัว หรือคลายตัวมักพบในความผิดปกติของลิ้นหัวใจ เช่น ลิ้นหัวใจรั่ว (Insufficiency) ทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของเลือด หรือลิ้นหัวใจตีบแข็ง (Stenosis) ทำให้เลือดไหลผ่านได้ยากจนมีการไหลแบบลักษณะ Turbulent flow ขึ้น ดังตาราง

ตารางที่ 8-1 แสดงตำแหน่งของลิ้นหัวใจและความผิดปกติ

| ลิ้นหัวใจ | ความผิดปกติ | ช่วงที่ได้ยินเสียง |
|---|---|---|
| Aortic หรือ Pulmonary semilunar valve | Stenosis | Ventricular systole |
| | Insufficiency | Ventricular diastole |
| Mitral หรือ Tricuspid valve | Stenosis | Ventricular diastole |
| | Insufficiency | Ventricular systole |

**2.5 ปริมาณเลือดที่ถูกบีบออกจากหัวใจ**

หน้าที่ของหัวใจคือบีบตัวดันเลือดออกจากหัวใจเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ให้เพียงพอต่อความต้องการของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายในขณะอยู่ในสภาวะต่าง ๆ อัตราการไหลของเลือดจากหัวใจ (cardiac output) จะมากหรือน้อยขึ้นกับอัตราการเต้นของหัวใจกับปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจต่อการบีบตัวของหัวใจในแต่ละครั้ง (stroke volume) ดังสมการ

$$\text{Cardiac output} = \text{Heart rate} \times \text{Stroke volume}$$

**2.5.1 Cardiac output (CO)** หมายถึง ปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจ ในระยะเวลา 1 นาที ค่าของ cardiac output เป็นผลคูณของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) และปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจจากการบีบตัวแต่ละครั้ง (stroke volume) มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร/นาที หรือ ลิตร/นาที ในคนปกติมีค่าประมาณ 5,000 มล./นาที (5 ลิตร/นาที) แต่ถ้าหากขณะออกกำลังกายอาจเพิ่มได้ถึง 20 ลิตร/นาที ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อ cardiac output ประกอบด้วยสิ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ค่า stroke volume และ heart rate

**2.5.2 Stroke volume (SV)** หมายถึง ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกในแต่ละครั้งขึ้นกับผลต่างของปริมาณเลือดใน Ventricle ก่อนบีบตัว (End diastolic volume = EDV) และปริมาณเลือดที่เหลือใน ventricle หลังบีบตัว (End systolic volume = ESV) ดังสมการ

$$SV = EDV - ESV$$

ปกติ stroke volume ของผู้ใหญ่ขณะพัก มีค่าประมาณ 70-80 มล./ครั้ง ปัจจัยที่มีผลต่อ stroke volume คือ สิ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของทั้ง EDV และ ESV

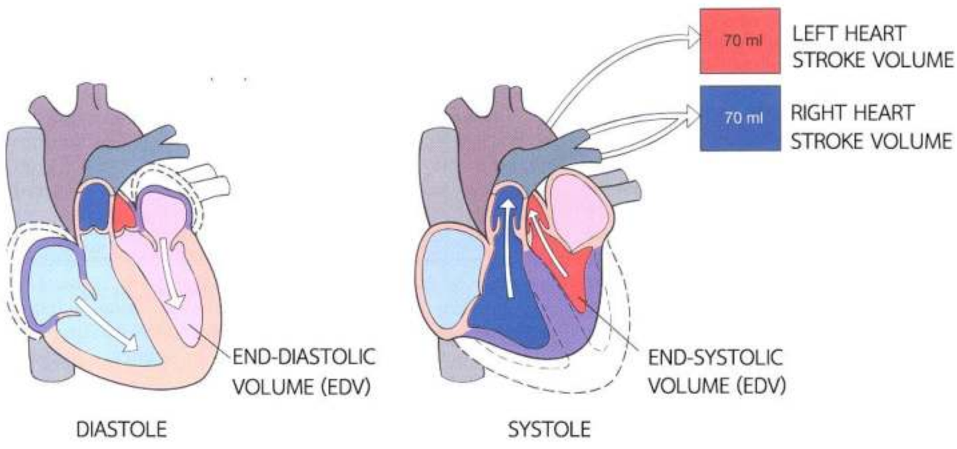
**ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเลือดใน Ventricle ก่อนบีบตัว (EDV)**

- **Filling time (Diastole)** คือ ช่วงเวลาที่เลือดไหลเข้าสู่หัวใจ หรือเลือดจาก atrium ไหลเข้าสู่ ventricle ถ้าหากช่วงเวลานี้สั้นจะทำให้ EDV ลดลง

- **Filling pressure** คือ แรงที่ช่วยดันให้เลือดลงสู่ ventricle ถ้าแรงดันนี้สูงขึ้นจะดันเลือดกลับสู่หัวใจ (Venous return) เพิ่มขึ้นส่งผลให้ EDV เพิ่มขึ้น การบีบตัวของ Atrium จะช่วยเสริมให้เลือดไหลเข้าสู่ Ventricle ได้มากขึ้น

- **Distensibility** คือ ความสามารถในการยืดขยายของกล้ามเนื้อหัวใจ ถ้าหากกล้ามเนื้อหัวใจมีการยืดขยายได้ดี เลือดก็จะไหลเข้าสู่ ventricle ได้มากในช่วง diastole ส่งผลให้ EDV เพิ่มขึ้น

- ปัจจัยอื่นๆ เช่น สภาวะของผนังเยื่อหุ้มหัวใจ หากมีการติดเชื้อหรือมีสารเหลวไปคั่ง ย่อมมีผลไปต้านการยืดขยายของหัวใจ




รูปที่ 8-27 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อ Stroke volume

**ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเลือดที่เหลือใน Ventricle หลังบีบตัว (ESV)**

**- แรงบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ** หากหัวใจบีบตัวแรงจะทำให้ ESV ลดลง จึงเพิ่ม Stroke volume แรงการบีบตัวของหัวใจถูกควบคุมโดยเส้นประสาทอัตโนมัติที่มายังหัวใจ การกระตุ้นเส้นประสาทซิมพาเทติกมีผลทำให้เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจหดตัวแรงขึ้น ส่วนการกระตุ้นเส้นประสาทพาราซิมพาเทติกที่ไปหัวใจให้ผลตรงข้าม สารที่มีผลต่อการบีบตัวของหัวใจเรียกว่า inotropes สารที่ทำให้หัวใจบีบตัวแรงขึ้น เรียก positive inotropes เช่น catecholamines สารที่ทำให้แรงบีบตัวลดลงเรียก negative inotropes เช่น สารพิษจากเชื้อแบคทีเรีย แรงบีบตัวยังขึ้นกับความยาวของเซลล์ กล้ามเนื้อหัวใจก่อนบีบตัว (EDV) หากหัวใจได้รับเลือดเข้าสู่หัวใจ (preload) มาก ทำให้เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจยืดยาวออก เมื่อหดตัวจะมีผลให้หัวใจบีบตัวแรงขึ้น (Starling's law of the heart)

- **Pressure load** ได้แก่ ความดันเลือดแดงในหลอดเลือดแดงใหญ่ เช่น ที่ aorta หากความดันเลือดในหลอดเลือดมีค่าสูง จะทำให้หัวใจบีบเลือดออกได้น้อย เนื่องจากมีแรงต้าน (afterload) มาก ส่งผลให้ ESV เพิ่ม หากความดันเลือดใน aorta ลด ESV จะลดตาม

**- ปัจจัยอื่นๆ** เช่น ความผิดปกติของลิ้นหัวใจ ตัวอย่าง เช่น หากลิ้น semilunar valves เปิดไม่ได้เต็มที่จะทำให้ ESV สูงขึ้น ดังนั้น SV ลดลง หรือกรณีที่ AV valves หรือ semilunar valves ปิดไม่สนิท เลือดสามารถไหลย้อนทางก็ทำให้ SV ลดลงได้อย่างมาก

**2.5.3 Heart rate (HR)** หมายถึง อัตราการเต้นของหัวใจใน 1 นาที ในคนปกติขณะพัก มีค่าประมาณ 70-75 ครั้งต่อนาที ในทารกแรกเกิดมีค่าประมาณ 135 ครั้งต่อนาที ส่วนในนักกีฬาที่ฝึกฝนมาอย่างดี อัตราการเต้นของหัวใจอาจลดต่ำลง เหลือเพียง 50 ครั้ง/นาที ชีพจรเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ตัวอย่างตามตารางที่ 8-2 ชีพจรที่เต้นเร็วทำให้มี cardiac output เพิ่มขึ้น แต่หากหัวใจเต็นเร็วเกินไป จนทำให้ช่วงการคลายตัวของหัวใจลดลงอย่างมาก จะทำให้ Stroke volume และ cardiac output ลดลง

ตารางที่ 8-2 แสดงปัจจัยที่ส่งผลถึงอัตราการเต้นของหัวใจ

| อัตราเต้นของหัวใจ | ปัจจัย |
|---|---|
| เพิ่มขึ้นโดย | ตื่นเต้น, โกรธ, หายใจเข้า, ความรู้สึกเจ็บ, ออกกำลังกาย, ขาด ออกซิเจน), ลดการกระตุ้น baroreceptors, norepinephrine, epinephrine, thyroid hormones, เป็นไข้ |
| ลดลงโดย | กลัว, โศกเศร้า หายใจออก เพิ่มการกระตุ้นของ baroreceptors, เพิ่ม intracranial pressure |

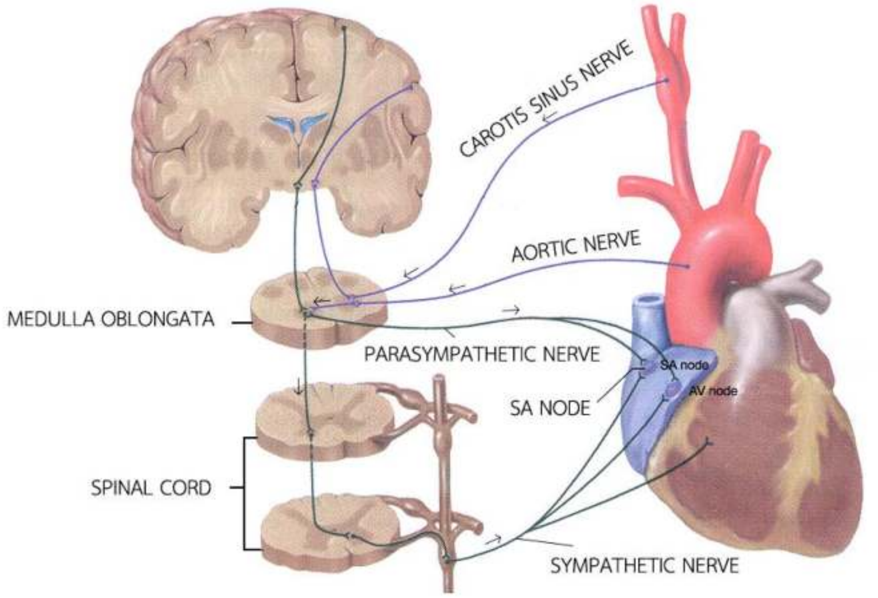
## 2.6 การควบคุมการทำงานของหัวใจ

การทำงานของหัวใจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้โดย อิทธิพลของปัจจัยหลายอย่างซึ่งสรุปเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 3 พวก ได้แก่ การควบคุมโดยประสาทอัตโนมัติ การควบคุมโดยฮอร์โมน และการควบคุมโดยหัวใจเอง (autoregulation) คือ

**1. การควบคุมโดยประสาทอัตโนมัติ (Autonomic nervous control)** แม้ว่าหัวใจจะมีคุณสมบัติในการสร้างคลื่นไฟฟ้าและกระตุ้นให้หัวใจบีบตัวได้เอง แต่การทำงานของหัวใจใน ร่างกายยังได้รับอิทธิพลของระบบประสาทอัตโนมัติ

=> **เส้นประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic nerve)** จากเซลล์ประสาทในเมดัลลาของก้านสมอง ให้เส้นใยประสาทไปที่ SA node และ AV node เป็นส่วนใหญ่ การเร้าเส้นประสาทพาราซิมพาเทติกที่ไปหัวใจมีผลให้อัตราเต้นของหัวใจช้าลง

=> **เส้นประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nerve)** เส้นประสาทซิมพาเทติกที่ไปควบคุมการทำงานของหัวใจมีเซลล์ประสาทที่ไขสันหลัง บริเวณอก ที่ระดับ T1 ถึง T5 หรือ T6 และมีเส้นใยประสาท ไปยัง SA และ AV nodes การเร้าเส้นประสาทซิมพาเทติกที่ไปหัวใจมีผลให้อัตราเต้นของหัวใจเร็วขึ้น




รูปที่ 8-28 แสดงการควบคุมการทำงานของหัวใจโดยระบบประสาท

**2. การควบคุมโดยฮอร์โมน** ฮอร์โมน Epinephrine, Norepinephrine, thyroxine มีผลเพิ่มอัตราเต้นและแรงบีบตัวของหัวใจ

**3. การควบคุมโดยหัวใจเอง (Autoregulation)**

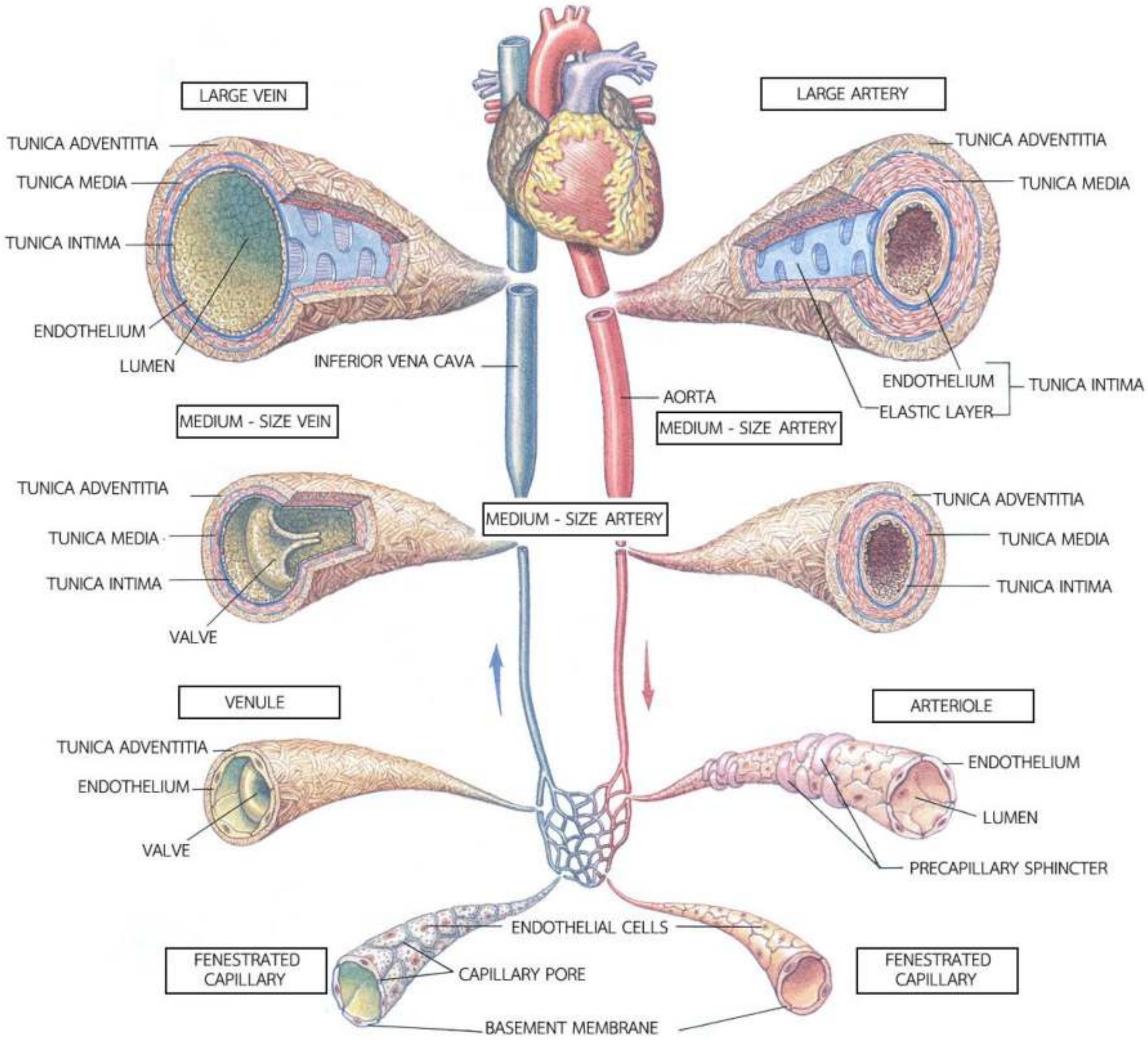
=> **Heterometric autoregulation** ถ้าหากปริมาตรเลือดใน ventricle ก่อนบีบตัวมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะมีผลให้หัวใจบีบตัวได้แรงขึ้น เป็นไปตามกฎของ Starling’s law of the heart คล้ายกับกล้ามเนื้อลาย แต่มีขีดจำกัด หากกล้ามเนื้อหัวใจถูกยืดขยายมากเกินไปจนเกินขีดจำกัด กลับจะทำให้แรงการบีบตัวของหัวใจลดลง

=> **Homeometric autoregulation** เป็นคุณสมบัติของหัวใจเอง ซึ่งขึ้นกับความดันเลือดใน Aorta หากความดันใน Aorta สูงขึ้น หัวใจจะบีบตัวแรงขึ้น เพื่อดันเลือดออกจากหัวใจ ในปริมาณเท่าเดิม หรือเกือบเท่าเดิมโดยไม่ขึ้นกับความยาวของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจก่อนบีบตัว และไม่ขึ้นกับระบบประสาทหรือฮอร์โมนใด ๆ

******************************************

## ตอนที่ 3
## หลอดเลือดและการไหลเวียนเลือดในร่างกาย
## (Blood vessels and Blood circulation)

เลือดที่ออกจากหัวใจจะไหลไปเลี้ยงเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย โดยอาศัยหลอดเลือดซึ่งแตกสาขาออกไปทั่วร่างกาย เราแบ่งหลอดเลือดได้เป็น 3 พวก ได้แก่ หลอดเลือดแดง หลอดเลือดฝอย และหลอดเลือดดำ หลอดเลือดเหล่านี้ต่างมีองค์ประกอบ คุณสมบัติ และหน้าที่บางอย่างแตกต่างกัน




รูปที่ 8-29 แสดงโครงสร้างผนังหลอดเลือดชนิดต่าง ๆ

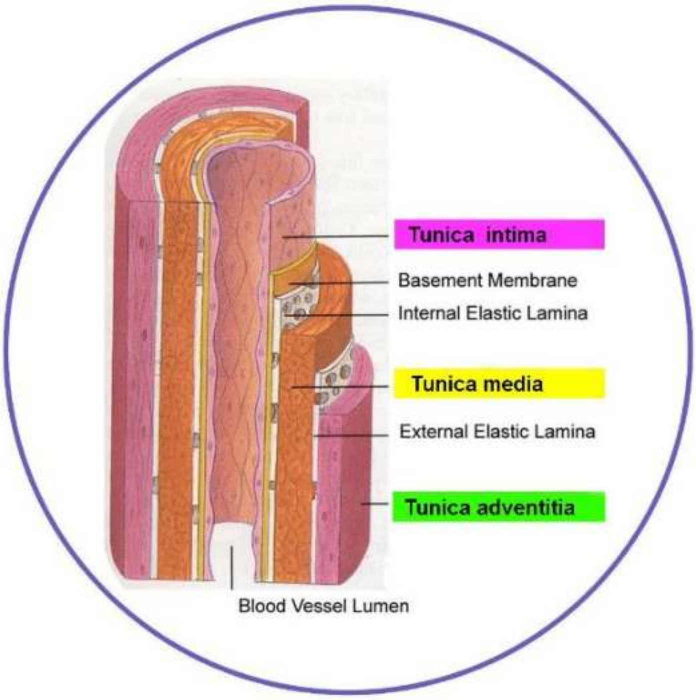
## 3.1 หลอดเลือด

### 3.1.1 หลอดเลือดแดง (Arteries)

เป็นหลอดเลือดที่นำเลือดออกจากหัวใจ จะมีผนังหนาเพื่อรับกับความดันของเลือดที่ผ่านภายในหลอดเลือดทุกๆ ครั้งที่หัวใจบีบตัว หลอดเลือดที่ใหญ่ที่สุดคือ aorta ซึ่งออกจากหัวใจแล้วแตกแขนงออกเป็น artery ที่มีขนาดเล็กลงตามลำดับ จนเป็นหลอดเลือดแดงขนาดเล็กที่สุดเรียกว่า หลอดเลือดแดงรอง (arterioles)

หลอดเลือดแดงมีความยืดหยุ่นดี มีเนื้อเยื่ออิลาสติกมาก โดยเฉพาะหลอดเลือดแดงใหญ่ สำหรับ artery ขนาดเล็ก arterioles และกล้ามเนื้อหูรูด (pre-capillary sphincter) มีเนื้อเยื่ออีลาสติกน้อยกว่าหลอดเลือดแดงใหญ่ แต่มีสัดส่วนปริมาณกล้ามเนื้อเรียบค่อนข้างมาก หลอดเลือดเหล่านี้จึงตีบหรือขยายได้มากซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อความต้านทานและอัตราไหลของเลือดที่จะผ่านเข้าสู่หลอดเลือดฝอยของเนื้อเยื่อต่างๆ ผนังของหลอดเลือดแดงขนาดใหญ่ มี 3 ชั้น คือ

- **ชั้นในสุด** เรียกว่า **Tunica intima** ประกอบด้วยเซลล์บุหลอดเลือด มีเนื้อเยื่ออิลาสติกอยู่ข้างใต้
- **ชั้นกลาง** เรียกว่า **Tunica media** เป็นผนังชั้นกลาง ซึ่งจะมีความหนาที่สุดประกอบด้วยเนื้อเยื่อ อิลาสติกปนกับกล้ามเนื้อเรียบ
- **ชั้นนอก** เรียกว่า **Tunica externa (Tunica adventitia)** ประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจน และเนื้อเยื่ออิลาสติกเรียงตัวประสานกัน




รูปที่ 8-30 แสดงชั้นของหลอดเลือดแดง

### 3.1.2 หลอดเลือดฝอย (Capillary)

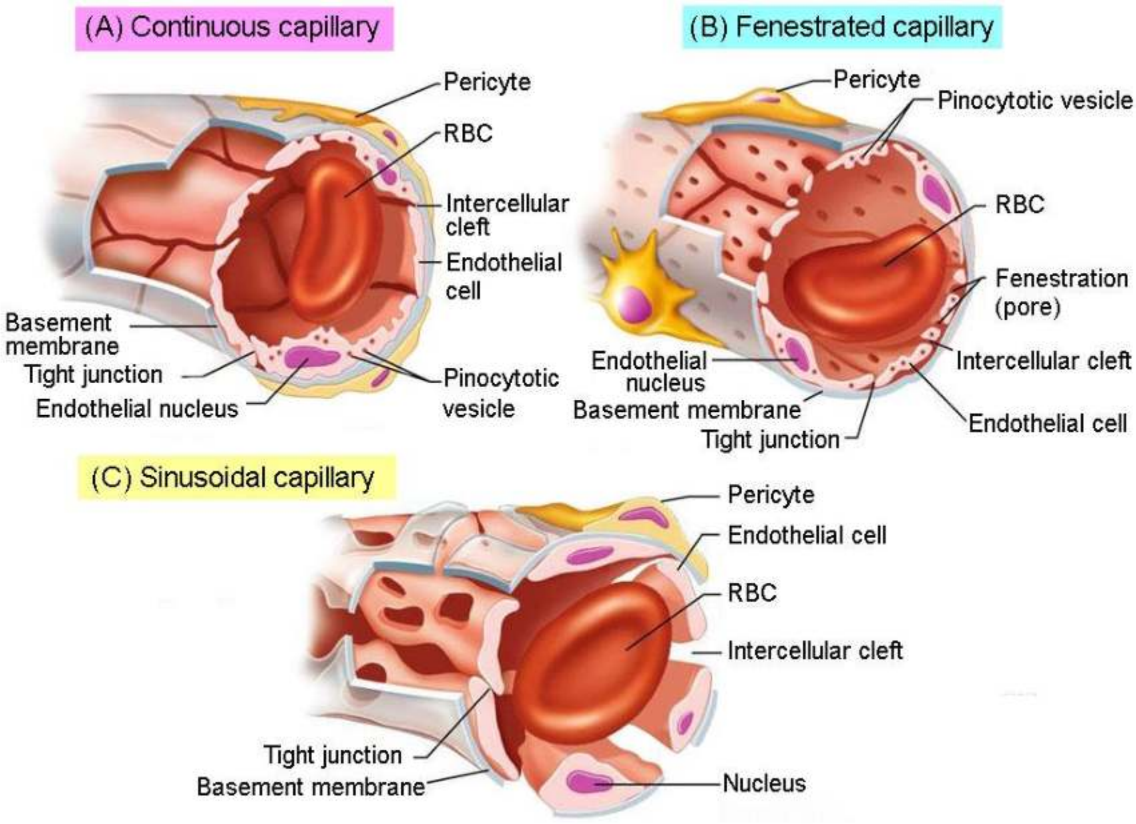
เป็นหลอดเลือดขนาดเล็กมาก เชื่อมต่อระหว่าง arteriole กับ venule การที่เลือดไหลจาก arteriole ไปสู่ venule โดยผ่านทางหลอดเลือดฝอย เรียกว่า microcirculation มีผนังบาง ประกอบด้วยเซลล์เยื่อบุหลอดเลือด (endothelial cells) เพียงชั้นเดียว และมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8-10 ไมโครเมตร เนื่องจากผนังของหลอดเลือดฝอยนั้นมีความบางมาก หลอดเลือดฝอยจึงเป็นทางผ่านในการแลกเปลี่ยนสารอาหาร ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ของเสียระหว่างเลือดกับเนื้อเยื่อ

**ชนิดของหลอดเลือดฝอย** หลอดเลือดฝอยแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของผนังหลอดเลือดฝอย ได้แก่

**1. หลอดเลือดฝอยผนังต่อเนื่อง (continuous capillary)** ที่ผนังของหลอดเลือดฝอยชนิดนี้จะไม่มีช่องว่างอยู่เนื่องจากเซลล์เรียงเสมอกันเรียบร้อย พบได้ที่กล้ามเนื้อลายและในระบบประสาท

**2. หลอดเลือดฝอยผนังมีรู (fenestrated capillary)** ผนังของหลอดเลือดฝอยชนิดนี้จะมีรูพรุน จึงพบได้ที่ไต และต่อมไร้ท่อ

**3. หลอดเลือดฝอยผนังไม่ต่อเนื่อง (discontinuous capillary)** ผนังของหลอดเลือดฝอยชนิดนี้จะไม่มีรู เพียงแต่ต่อกันไม่สนิทเหมือนหลอดเลือดฝอยชนิดแรก สามารถพบได้ที่อวัยวะต่างๆเช่น ตับ ม้าม รวมทั้งไขกระดูก เป็นต้น




รูปที่ 8-31 แสดงชนิดของหลอดเลือดฝอย

### 3.1.3 หลอดเลือดดำ (Vein)

เลือดที่ผ่านจากหลอดเลือดฝอยจะถูกนำกลับสู่หัวใจโดยผ่านทางหลอดเลือดดำซึ่งมีขนาดต่างๆ ได้แก่หลอดเลือดดำเล็ก (venule) ซึ่งมีขนาดเล็กอยู่ติดกับหลอดเลือดฝอย เลือดจาก venule จะไหลเข้าหลอดเลือดดำที่ใหญ่ขึ้นเป็นลำดับจนถึง vena cava (superior vena cava และ inferior vena cava) ซึ่งนำเลือดเข้าสู่หัวใจ

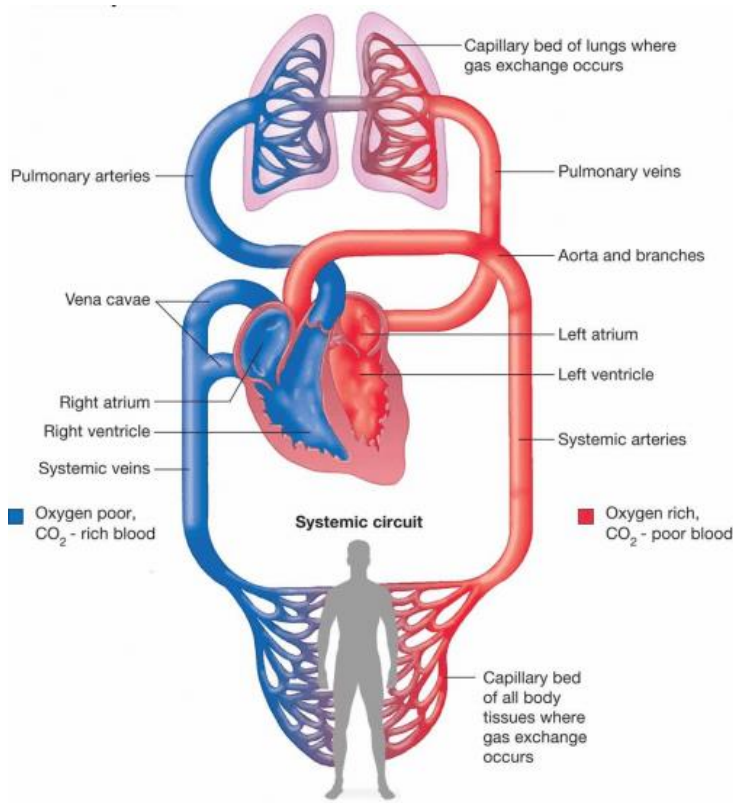
ผนังหลอดเลือดดำเล็ก มีความหนามากกว่าผนังของหลอดเลือดฝอยเพียงเล็กน้อย ไม่มีเนื้อเยื่ออิลาสติก และไม่มีกล้ามเนื้อเรียบ การแลกเปลี่ยนสารระหว่างเลือดกับเนื้อเยื่อจึงอาจเกิดแลกเปลี่ยนสารผ่านผนังของหลอดเลือดได้ สำหรับหลอดเลือดดำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมีเนื้อเยื่ออิลาสติก และกล้ามเนื้อเรียบเล็กน้อย การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่ผนังทำให้หลอดเลือดดำเหล่านี้ตีบและขยายได้น้อยกว่าของหลอดเลือดแดงที่มีขนาดเท่าๆ กัน

ผนังหลอดเลือดดำต่างๆ มีคุณสมบัติถูกยืดขยายได้ง่าย แม้จะใช้แรงดันต่ำๆ จึงสามารถจุเลือดได้เป็นจำนวนมาก เลือดทั้งหมดในร่างกายประมาณ 60-70% จะอยู่ในส่วนของหลอดเลือดดำเหล่านี้

## 3.2 การไหลเวียนเลือดในร่างกาย (Blood circulation)

การไหลเวียนเลือดในร่างกายเกิดขึ้นเพื่อนำสารอาหาร และสารต่างๆ ไปยังเซลล์ทั่วร่างกาย และพาของเสียจากเซลล์เหล่านั้นไปยังอวัยวะที่ทำหน้าที่กำจัดออก การไหลเวียนเลือดเกิดจากการบีบตัวของหัวใจซึ่งก่อให้เกิดแรงดันขับเคลื่อนเลือดให้ไหลไปตามหลอดเลือดต่างๆ

การไหลเวียนเลือดในร่างกายแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ การไหลเวียนเลือดในร่างกายแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ Systemic circulation และ Pulmonary circulation



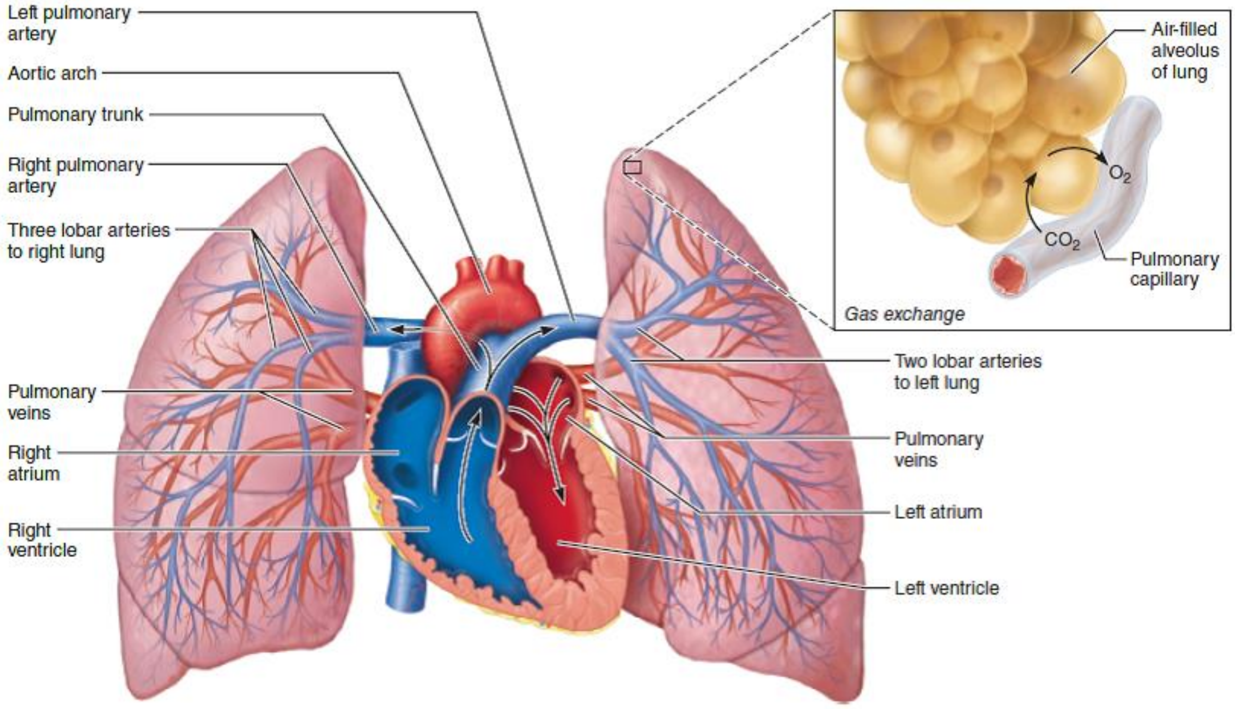

รูปที่ 8-32 แสดงระบบการไหลเวียนเลือดในร่างกาย แบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ Systemic circulation และ Pulmonary circulation

**3.2.1 Pulmonary circulation** หมายถึง การไหลเวียนเลือดผ่านปอด เลือดจากส่วนต่างๆ ของร่างกายและจากผนังของหัวใจเอง จะเข้าสู่ right atrium ผ่าน right atrioventricular valve เข้าสู่right ventricle ผ่าน pulmonary semilunar valve เข้าสู่ pulmonary artery ผ่านแขนงของ pulmonary artery เข้าสู่ pulmonary capillaries ภายในปอดเลือดจะมีการวับออกซิเจน และถ่ายคาร์บอนไดออกไซด์ (Oxygenated) วงจรนี้เรียกว่า Pulmonary circulation

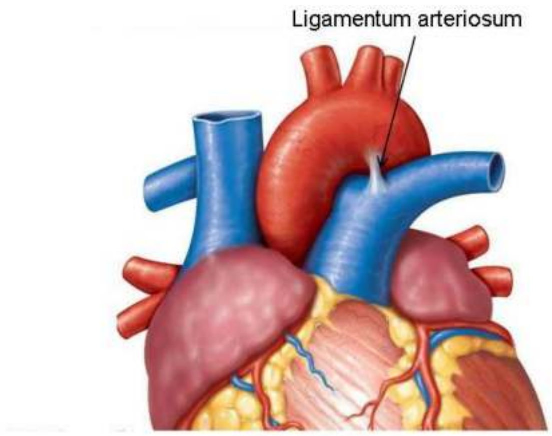
Pulmonary artery ที่ออกจาก right ventricle จะแบ่งออกเป็น right และ left pulmonary artery, Right pulmonary artery จะทอดไปสู่ขั้วปอดแล้วแยกเป็น 3 แขนง ทอดเข้าสู่แต่ละกลีบ (lobe) ของปอดขวาส่วน Left pulmonary artery จะสั้นกว่าข้างขวา ทอดไปสู่ขั้วปอดแล้วแยกเป็น 2 แขนง เข้าสู่แต่ละกลีบของปอดด้วย

ที่ส่วนบนของ pulmonary artery จะพบ Ligamentum arteriosum เป็นเอ็นสั้นๆ ทอดไปสู่ส่วนล่างของ aortic arch เอ็นนี้เป็นส่วนเหลือของ Ductus arteriosus ซึ่งในทารกที่อยู่ในครรภ์เป็นทางผ่านของเลือดจากหัวใจข้างขวาไปสู่ aorta โดยเลือดไม่ผ่านปอด

เลือดจากหลอดเลือดแดงที่เข้าสู่ปอดจะไปตาม pulmonary capillaries แล้วรับออกซิเจน พร้อมกับถ่ายคาร์บอนไดออกไซด์ออก จากนั้นเลือดจะผ่านเข้าสู่หลอดเลือดดำเล็กๆ จำนวนมาก หลอดเลือดดำเล็กเหล่านี้ จะรวมกันเป็น pulmonary vein จะมี pulmonary vein ออกจากปอดข้างละ 2 เส้น และไปเปิดเข้า left atrium




รูปที่ 8-33 แสดงการไหลเวียนเลือดผ่านปอด (Pulmonary circulation)



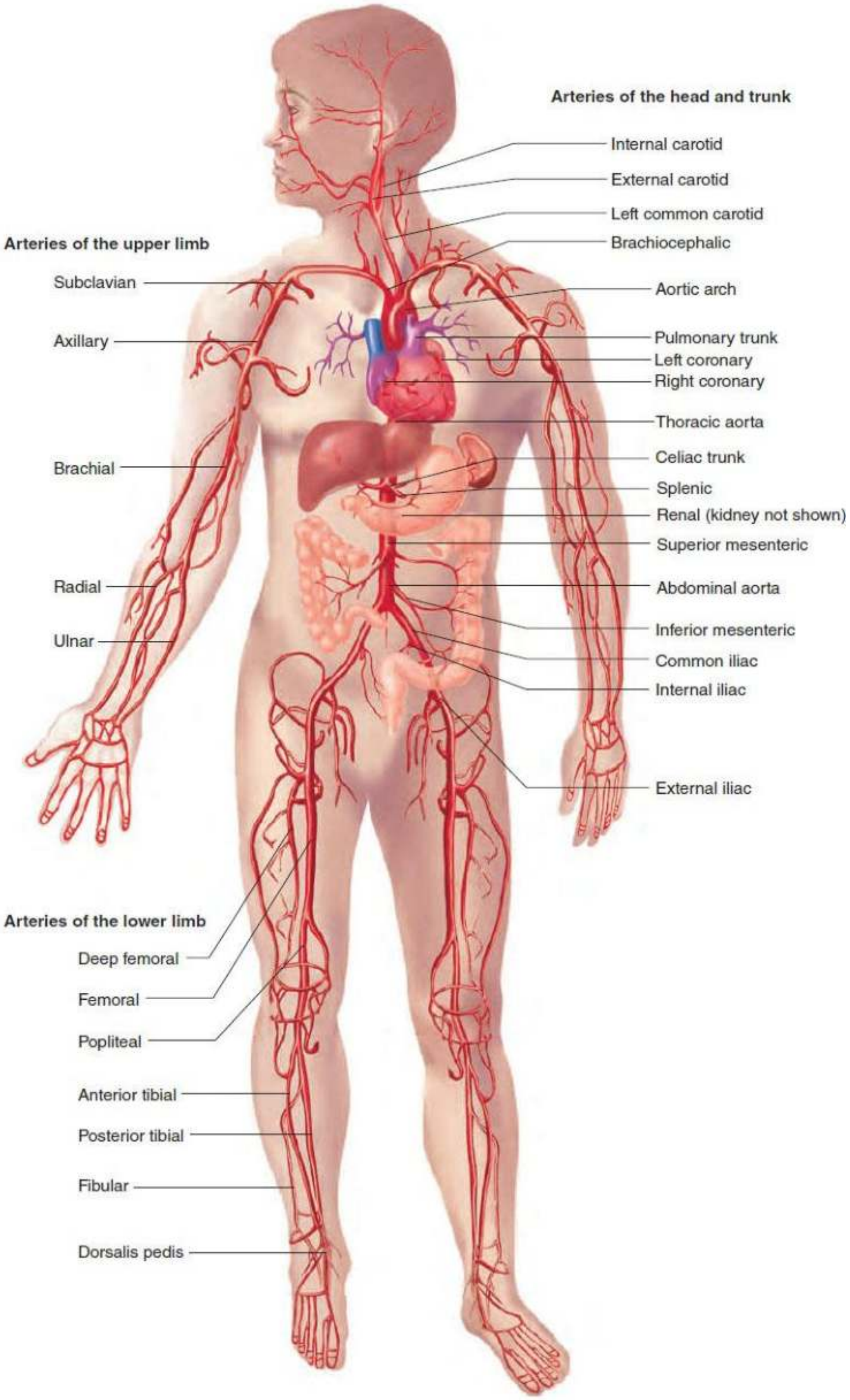

รูปที่ 8-34 แสดง Ligamentum arteriosum

**3.2.2 Systemic circulation** เป็นการไหลเวียนทั่วร่างกาย ยกเว้นปอด เริ่มจาก left ventricle ผ่านหลอดเลือดแดง aorta, artery, arteriole, capillary, venule และ vein ตามลำดับ แล้วเข้าสู่หัวใจทาง right ventricle

ในบทเรียนนี้ จะได้กล่าวถึง กายวิภาคของหลอดเลือดแดงของการไหลเวียนส่วนกาย (Artery of the systemic circulation) และ หลอดเลือดดำของการไหลเวียนส่วนกาย (Veins of the systemic circulation)

**หลอดเลือดแดงของการไหลเวียนส่วนกาย**

**(Artery of the systemic circulation)**




รูปที่ 8-35 แสดงหลอดเลือดแดงของ Systemic circulation

## หลอดเลือดแดงของอกและท้อง

**Aorta** เป็นหลอดเลือดแดงที่ใหญ่ที่สุดของร่างกายมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว เริ่มต้นต่อจาก left ventricle โดยที่จุดเริ่มต้นของ aorta นี้จะมีลิ้นกั้นอยู่ เรียกว่า aortic semilunar vale เพื่อป้องกันการไหลกลับของเลือดเข้า left ventricle ในขณะที่หัวใจคลายตัว aorta แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ascending aorta, arch of aorta, thoracic aorta และ abdominal aorta

**1. Ascending aorta** เป็นหลอดเลือด aorta ส่วนต้น ยาวประมาณ 2 นิ้ว ต่อมาจาก left ventricle ที่ aorta ส่วนนี้จะมีหลอดเลือดแดงแตกแขนงออกมา 2 เส้น ได้แก่ right coronary artery และ left coronary artery เพื่อไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจ

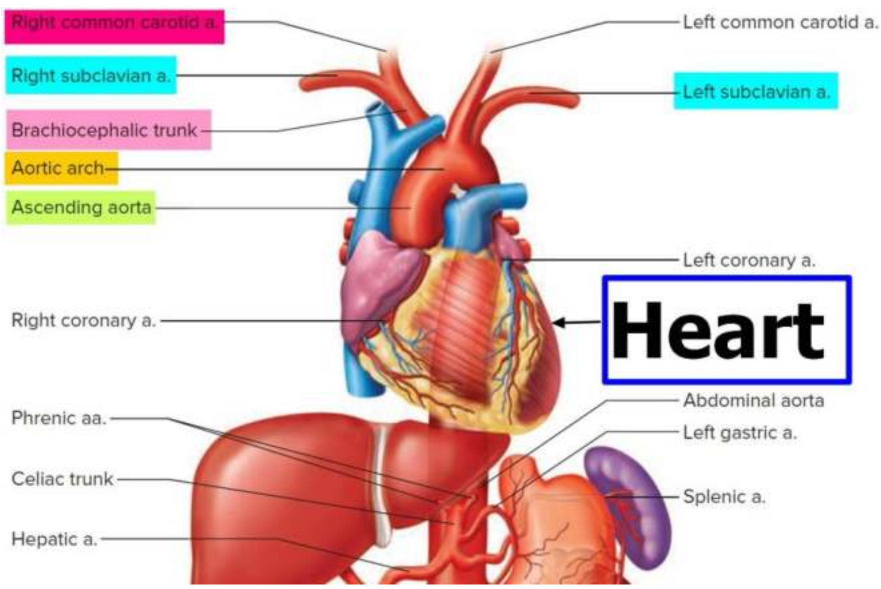
**2. Arch of aorta** เป็นหลอดเลือดส่วนที่ต่อมาจาก ascending aorta มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง ยาวประมาณ 2 นิ้ว หลอดเลือดนี้แตกแขนงออกไป 3 แขนง คือ brachiocephalic trunk (artery), left common carotid artery และ left subclavial artery

**2.1 Brachiocephalic trunk (Artery)** เป็นแขนงที่อยู่ทางขวาสุด มีขนาดใหญ่ที่สุด ซึ่งต่อมาจะแตกออกเป็น 2 เส้น คือ right subclavial artery และ right common carotid artery

**2.1.1 Right subclavial artery** จะแยกออกจาก brachiocephalic trunk บริเวณกระดูกซี่โครงซี่แรก ลอดผ่านกระดูกไหปลาร้าไปยังรักแร้ เพื่อเลี้ยงแขนและก่อนที่จะถึงรักแร้จะมีการแตกแขนงเล็ก ๆ ออกไปเป็น right vertebral artery ผ่านขึ้นไปทางรูของ transverse process ของกระดูกสันหลังส่วนคอ เพื่อไปเลี้ยงสมอง

**2.1.2 Right common carotid artery** แยกจาก brachiocephalic trunk บริเวณกระดูกซี่โครงซี่แรกเช่นกัน แล้วผ่านขึ้นไปที่คอจนถึงบริเวณริมขอบของกล่องเสียง จะแตกออกเป็นออกเป็น 2 เส้น คือ right external carotid artery และ right internal carotid artery โดย right external carotid artery จะไปเลี้ยงต่อมไทรอยด์, ลิ้น, คอ, หน้า, หู และผิวหนังบริเวณกะโหลกศีรษะ ส่วน right internal carotid artery จะไปเลี้ยงสมอง ตา และศีรษะด้านขวา

**2.2 Left common carotid artery** อยู่ตรงกลาง ทอดขึ้นสู่คอทางด้านซ้าย จากนั้นแตกแขนง เช่นเดียวกันกับ right common carotid artery ทุกอย่างเพียงแต่ว่าสลับด้าน ซ้าย-ขวา เท่านั้น




รูปที่ 8-36 แสดงหลอดเลือดแดง aorta และแขนง

**2.3 Left subclavial artery** อยู่ซ้ายสุด ลอดผ่านกระดูกไหปลาร้าไปยังรักแร้ซ้าย และมีการแตกแขนงเช่นเดียวกับ right subclavial artery

**3. Thoracic aorta (aorta ในช่องอก)** เป็นหลอดเลือดแดงที่ต่อมาจาก arch of aorta ยาวประมาณ 8 นิ้ว เริ่มต้นบริเวณระดับกระดูกสันหลังส่วนอกท่อนที่ 4-5 (T4-5) ค่อนมาทางด้านซ้ายของแนวกระดูกสันหลัง ทอดตัวลงสู่ด้านล่างและส่วนสุดท้ายจะแทงทะลุกระบังลมเข้าสู่ช่องท้องบริเวณระดับกระดูกสันหลังส่วนอกท่อนที่ 12 (T12) ต่อกับกระดูกสันหลังส่วนเอวท่อนที่ 1 (L1) สิ้นสุดโดยทอดผ่านกะบังลมทาง aortic opening ลงสู่ช่องท้อง โดยตลอดความยาวของ thoracic aorta จะมีหลอดเลือดแตกแขนงออกไปเลี้ยงอวัยวะบริเวณทรวงอก คือ

- Pericardial artery ไปเลี้ยงเยื่อหุ้มหัวใจ
- Bronchial artery ไปเลี้ยงหลอดลม
- Esophageal artery ไปเลี้ยงหลอดอาหาร
- Mediastinum artery ไปเลี้ยงเนื้อกลางอก
- Subcostal artery ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อระหว่างซี่โครง
- Superior phrenic artery ไปเลี้ยงกระบังลมด้านหลังส่วนบน

**4. Abdominal aorta (aorta ในช่องท้อง)** เริ่มจาก aorta ที่ทะลุผ่านกระบังลม ซึ่งจะให้แขนงต่างๆ คือ

- Phrenic artery ไปเลี้ยงกะบังลมทางด้านล่าง
- Celiac trunk ไปเลี้ยงกระเพาะอาหาร, ลำไส้เล็กส่วนต้น, ตับอ่อน, ตับ, ม้าม และถุงน้ำดี
- Middle suprarenal artery ไปเลี้ยงต่อมหมวกไต
- Lumbar artery มี 4 คู่ ไปเลี้ยงผนังช่องท้องด้านหลัง
- Superior mesenteric artery ไปเลี้ยงลำไส้เล็ก, ลำไส้ใหญ่ส่วน ascending colon และ ครึ่งทางขวาของ transverse colon
- Renal artery ไปเลี้ยงไต
- Testicular artery ไปเลี้ยงลูกอัณฑะในเพศชาย, ovarian artery ไปเลี้ยงรังไข่ในเพศหญิง
- Inferior mesenteric artery ไปเลี้ยงลำไส้ใหญ่ส่วนครึ่งซ้ายของ transverse colon, descending colon, sigmoid colon และส่วนต้นของ rectum
- Middle sacral artery ไปเลี้ยงกระเบนเหน็บ และกล้ามเนื้อบริเวณนั้น
- Common iliac artery เป็นแขนงปลายสุดของ abdominal aorta ซึ่งจะแยกให้แขนงไป เลี้ยงอวัยวะภายในอุ้งเชิงกรานและขาทั้งหมด

## หลอดเลือดแดงของเชิงกราน

### Common iliac artery

แยกออกจาก abdominal aorta ที่กระดูกสันหลังระดับ L4 แล้วทอดไปยัง sacroiliac joint แยกออกเป็น external และ internal iliac arteries

**Internal iliac artery**

ทอดลงไปตามด้านข้างของผนังอุ้งเชิงกราน และให้แขนงหลอดเลือด superior และ inferior gluteal artery ไปเลี้ยงบริเวณก้น, obturator artery ไปเลี้ยงต้นขา, internal pudendal artery ไปเลี้ยงบริเวณฝีเย็บ, แขนง vesical artery ไปเลี้ยงกระเพาะปัสสาวะ, rectal artery ไปเลี้ยงลำไส้ตรงและทวารหนัก ในเพศหญิงให้ uterine และ vaginal artery ไปเลี้ยงมดลูกและช่องคลอด

**External iliac Artery**

จะทอดไปบนกล้ามเนื้อ psoas แล้วลอดผ่านใต้ inguinal ligament ได้ชื่อใหม่ว่า Femoral artery จะไปสู่ขา external iliac จะให้แขนงชื่อ inferior epigastric artery ไปเลี้ยงส่วนล่างของผนังของช่องท้อง

## หลอดเลือดแดงของขา (Arteries of Lower Extremities)

หลอดเลือดเลือดของขาที่ควรรู้จัก ได้แก่

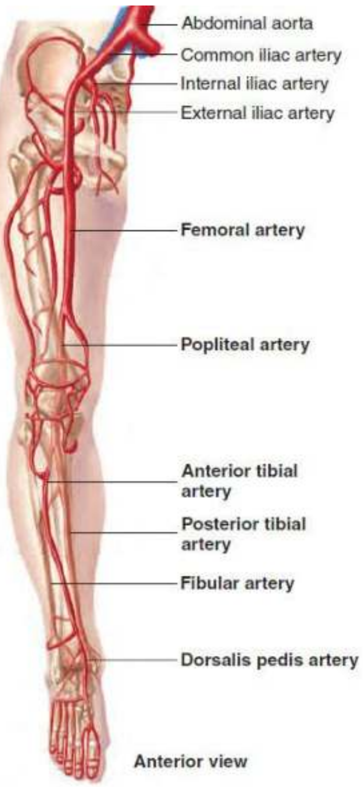
**Femoral artery**

เป็นเส้นเลือดแดงหลักที่ไปเลี้ยงอุ้งเชิงกราน เป็นส่วนต่อของ external iliac artery โดยจะเริ่มต้นจากจุดที่เส้นเลือดนี้ผ่านผนังช่องท้องออกมา เส้นเลือดนี้วิ่งมาในแนวกลางของขา ความสำคัญทางคลินิกคือ เป็นบริเวณที่ใช้จับชีพจร นอกจากนี้ femoral artery ยังใช้เป็นที่ใส่สายสวนหัวใจ (angiocardiography)

**Dorsalis pedis artery**

จะทอดอยู่บนหลังเท้าจากกึ่งกลางข้อเท้าถึงส่วนต้นของ first intermetatarsal space แล้วทอดลึกลงไปในฝ่าเท้าไปประกอบเป็น plantar arterial arch แขนงของหลอดเลือดเส้นนี้จะเลี้ยงหลังเท้าและนิ้วเท้า

**อื่นๆ** ได้แก่ Popliteal artery, Anterior tibial artery, Posterior tibial artery, Medial plantar artery, Lateral plantar artery, Plantar arterial arch




รูปที่ 8-37 แสดงหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงขาและเท้า

## หลอดเลือดแดงที่ศีรษะและคอ (Arteries of Head and Neck)

### Common carotid artery

ข้างซ้ายเป็นแขนงของ arch of aorta ข้างขวาเป็นแขนงของ brachiocephalic artery จะทอดขึ้นไปสู่คอ ถึงระดับ upper border ของ thyroid cartilage artery จะแยกให้แขนง คือ External และ Internal carotid arteries

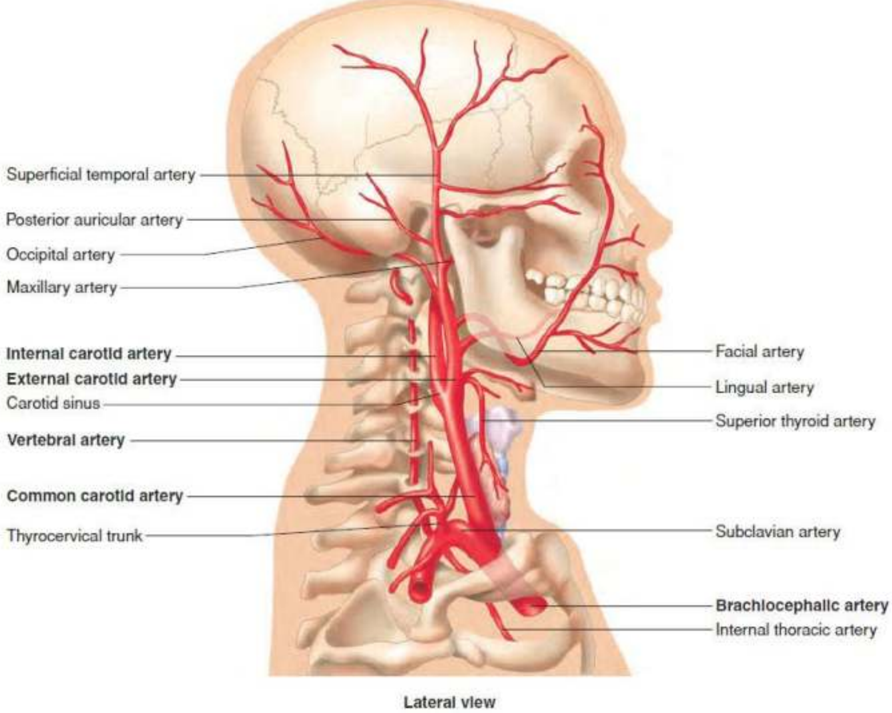
### Internal carotid artery

ทอดขึ้นไปในส่วนลึกของคอจนถึงฐานกะโหลก แล้วเข้าสู่ carotid canal เพื่อเข้าไปภายในกะโหลกศีรษะ แล้วแยกแขนงออกเพื่อเลี้ยงเยื่อหุ้มสมอง, สมอง, ตา และหูส่วนใน

### External carotid artery

ทอดขึ้นไปยังมุมกระดูกกรามล่าง แล้วเข้าสู่ต่อมน้ำลายพาโรติด (parotid gland) ภายในต่อมน้ำลายที่ระดับของหูจะแยกให้แขนง ดังนี้

1. Superior thyroid artery ไปเลี้ยงต่อมไทรอยด์และกล่องเสียง
2. Lingual artery ไปเลี้ยงลิ้น
3. Occipital artery ไปเลี้ยงส่วนหลังของหนังศีรษะ




รูปที่ 8-38 แสดงหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงศีรษะและคอ

## หลอดเลือดแดงที่แขน

### Subclavian artery

ข้างซ้ายออกจาก arch of aorta ข้างขวาออกจาก brachiocephalic artery ทอดโค้งไปเหนือกระดูกไหปลาร้าเล็กน้อย ข้ามซี่โครงคู่ที่ 1 ต่อจากนั้นเรียกชื่อใหม่ว่า axillary artery ซึ่งจะทอดไปสู่แขน

**Axillary artery**

เป็นหลอดเลือดแดงที่ต่อมาจาก subclavian artery แล้วทอดตัวมาสู่บริเวณรักแร้

**Brachial artery**

เป็นหลอดเลือดแดงที่ต่อมาจาก axillary artery ทอดตัวผ่านต้นแขนลงสู่ข้อศอก ต่อจากนั้น Brachial artery จะแตกแขนงออกเป็น 2 เส้น คือ radial และ ulnar artery

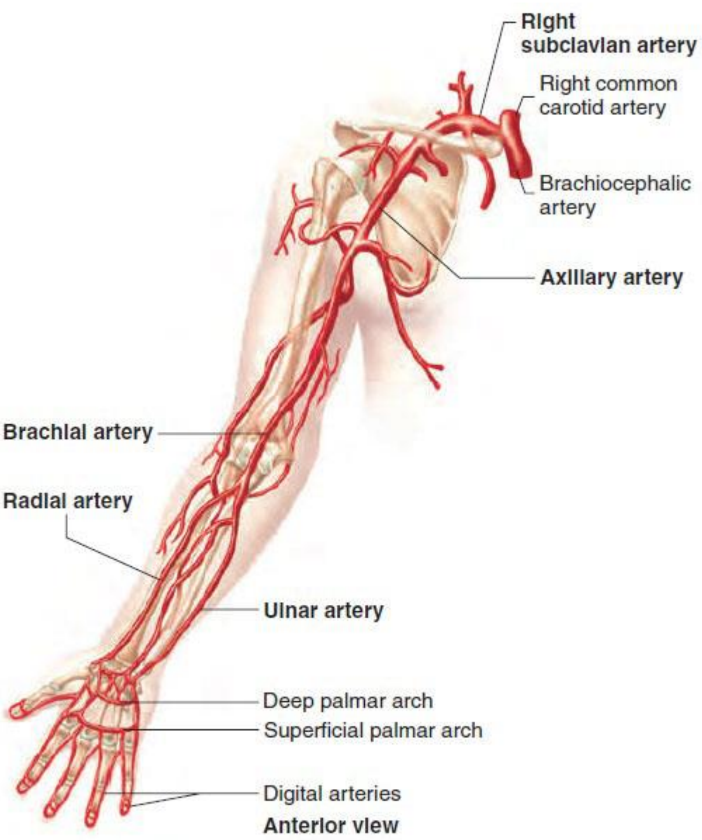
**Radial artery**

จะทอดตัวลงสู่ฝ่ามือตามแนวของกระดูก radius (ด้านนิ้วหัวแม่มือ)

**Ulnar artery**

จะทอดตัวลงสู่ฝ่ามือตามแนวของกระดูก ulna (ด้านนิ้วก้อย)

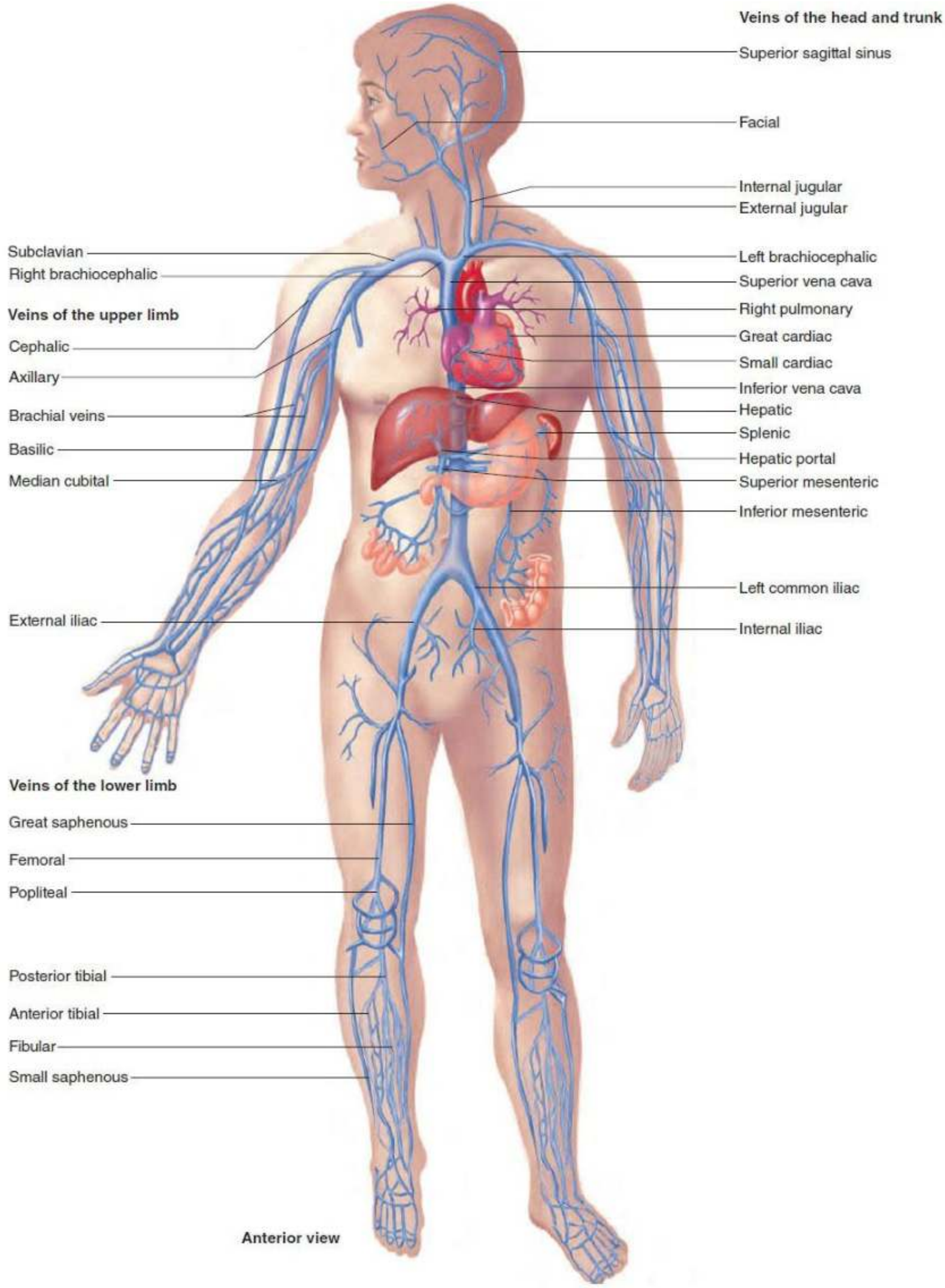
ทั้ง radial artery และ ulnar artery เมื่อทอดตัวลงมาถึงบริเวณฝ่ามือจะเชื่อมต่อกันเป็น superficial palmar arch และ deep palmar arch ซึ่งต่อมาจะมีแขนงแตกออกไปเลี้ยงนิ้ว เรียกว่า digital artery




รูปที่ 8-39 แสดงหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงแขน และมือ

## หลอดเลือดดำของการไหลเวียนส่วนกาย
## (Veins of the systemic circulation)

เลือดเมื่อผ่านไปถึงหลอดเลือดฝอยแล้วก็จะเข้าสู่หลอดเลือดดำเส้นเล็กๆ จากนั้นค่อยๆ รวมกันเป็นหลอดเลือดดำขนาดใหญ่ขึ้นและกลับเข้าหัวใจ หลอดเลือดดำส่วนมากจะทอดคู่ไปกับหลอดเลือดแดง มีชื่อเรียกคล้ายๆ กัน




รูปที่ 8-40 แสดงหลอดเลือดดำของร่างกาย

เลือดดำจะกลับเข้าสู่ Right atrium จากหลอดเลือดดำ 3 เส้น คือ coronary sinus, superior vena cava และ inferior vena cava ดังนี้

**1. Coronary sinus** จะรับเลือดทั้งหมดจากกล้ามเนื้อหัวใจ โดย coronary sinus จะอยู่บริเวณ coronary sulcus แล้วไปเปิดเข้าสู่ right atrium บริเวณระหว่างรูเปิดของ inferior vena cava กับ tricuspid valve

**2. Superior vena cava (SVC)** ยาวประมาณ 3 นิ้ว จะรับเลือดจากส่วนบนของร่างกายซึ่งผ่านมาตาม right และ left brachiocephalic vein เข้าสู่ right atrium ดังนี้

- หลอดเลือดดำจากสมอง หน้าและคอส่วนลึกจะมารวมกันเป็น internal jugular vein
- หลอดเลือดดำจากศีรษะและหน้าส่วนตื้นจะมารวมกันเป็น external jugular vein แล้วไป เทเข้า subclavian vein
- หลอดเลือดดำจากแขน จะรวมเป็น axillary vein แล้วเทเข้า subclavian vein
- subclavian vein และ internal jugular vein รวมกันเป็น brachiocephalic (Innominate) vein
- brachiocephalic vein ทั้ง 2 ข้างรวมกันเป็น superior vena cava เข้าสู่ right atrium

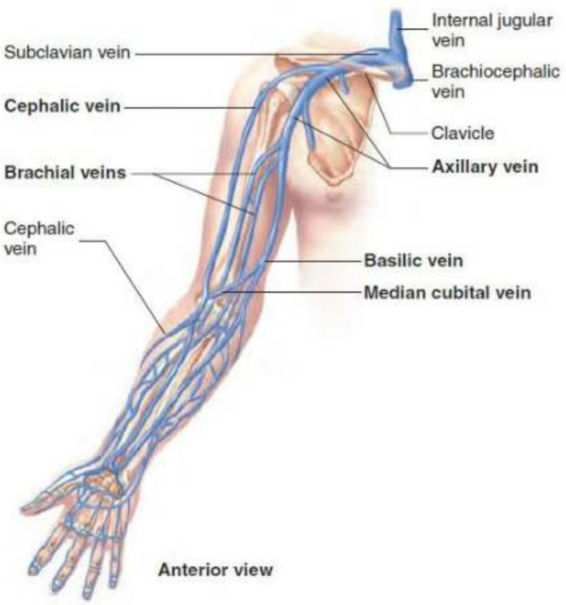
**3. Inferior vena cava (IVC)** เป็นหลอดเลือดดำที่ใหญ่ที่สุดในร่างกายมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 นิ้ว ทอดคู่กับ abdominal aorta ขึ้นไปข้างบนเข้าสู่ right atrium หลอดเลือด Inferior vena cava เริ่มต้น ดังนี้

- หลอดเลือดดำจากขาทั้งหมดรวมกันเป็น femoral vein แล้วเข้า external iliac vein
- เลือดดำจากอวัยวะภายในช่องเชิงกรานทั้งหมดก็รวมกันเป็น internal iliac vein
- ทั้ง external และ internal iliac vein รวมกันเข้าเป็น common iliac vein
- common iliac vein ทั้ง 2 ข้างรวมกันเป็น inferior vena cava

ระหว่างทางจะมี lumbar vein, right spermatic (right ovarian vein ในหญิง), renal vein, inferior phrenic vein และ hepatic vein มาเทเข้าด้วย สำหรับ inferior vena cava อาจจะถูกเบียดกดในช่วงตั้งครรภ์ระยะท้าย ๆ จากการขยายของมดลูก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการบวมที่เท้าและข้อเท้าและเกิดเส้นเลือดขอดชั่วคราวได้

## หลอดเลือดดำที่แขนและมือ

หลอดเลือดดำที่แขนซึ่งรับเลือดดำจากแขนกลับสู่หัวใจนั้น จะมีการวางตัวคล้ายกับของหลอดเลือดแดง แต่จะมีแขนงกลุ่มของหลอดเลือดดำชั้นตื้น (superficial veins) เพิ่มขึ้นมา เพื่อช่วยรับเลือดกลับสู่หัวใจ คือ




รูปที่ 8-41 แสดง Veins ของแขนและมือ

**- Cephalic vein** เริ่มจากฝ่ามือทอดขึ้นมาตามริมขอบกระดูก radius เมื่อมาถึงข้อพับแขนจะมีหลอดเลือดดำ medial cubital vein เป็นตัวมาเชื่อมต่อเพื่อไปเชื่อมต่อกับหลอดเลือด basilic vein (หลอดเลือด medial cubital vein นี้ มักจะใช้ในการเจาะเลือดเพื่อไปทำการตรวจวิเคราะห์ต่างๆ) ส่วนปลายของ cephalic vein จะนำเลือดไปเปิดลงสู่ axillary vein ต่อไป

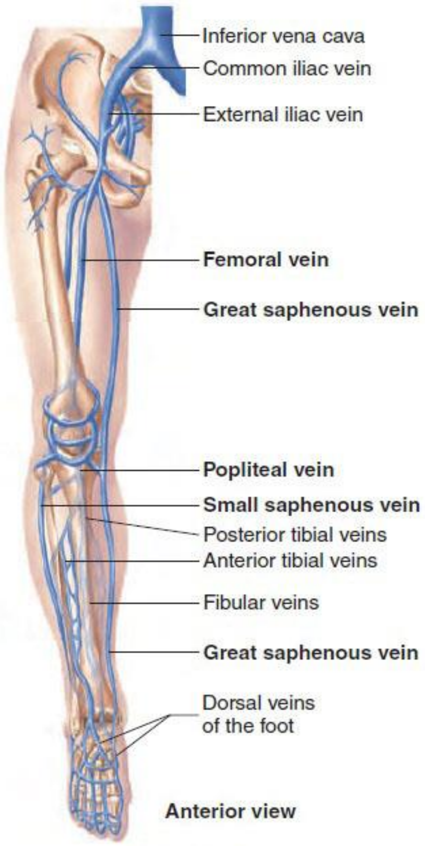
**- Basilic vein** เริ่มต้นบริเวณฝ่ามือเช่นเดียวกันแล้วทอดขึ้นมาตามแนวกระดูก ulna เมื่อมาถึงบริเวณข้อพับแขนจะมีหลอดเลือด medial cubital vein ซึ่งเชื่อมต่อกับ cephalic vein มาเปิดเข้า โดยส่วนปลายของ basilic vein จะไปรวมกับ brachial vein แล้วกลายเป็น axillary vein

## หลอดเลือดดำที่ขาและเท้า

หลอดเลือดดำที่ขาจะมีการวางตัวเช่นเดียวกับหลอดเลือดแดงที่ขา แต่จะมีหลอดเลือดดำ Superficial vein เพิ่มขึ้นมาเพื่อรับเลือดที่ชั้นตื้น ๆ คือ

- Great saphenous vein เป็นหลอดเลือดดำที่ยาวที่สุดในร่างกาย เริ่มต้นบริเวณฝ่าเท้า ทอดตัวมาทางด้านตาตุ่มด้านในขึ้นสู่น่อง และนำเลือดไปเปิดลงสู่ Femoral vein

- Small saphenous vein เริ่มจากบริเวณฝ่าเท้าทอดตัวขึ้นมาทางด้านหลังขาแล้วนำเลือดไปเปิดลงสู่ Popliteal vein ซึ่งอยู่ด้านหลังเข่า




รูปที่ 8-42 แสดง Veins ของขาและเท้า

## ระบบปอร์ตัล (Portal circulation)

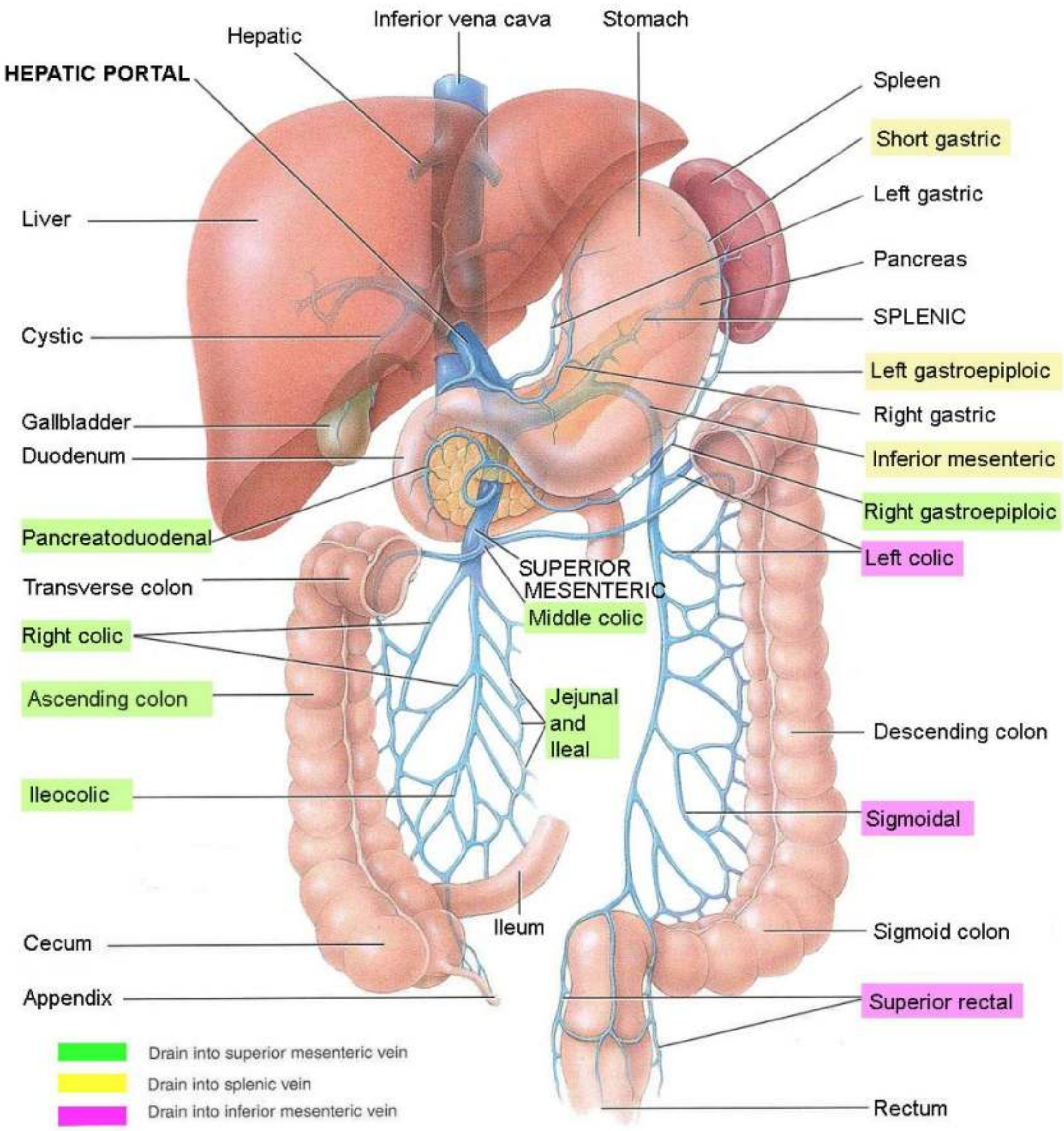
หมายถึง หลอดเลือดดำ ที่นำเลือดดำจากระบบทางเดินอาหารไปยังตับ เนื่องจากเลือดดำจากทางเดินอาหารมีอาหารที่ย่อยแล้วและถูกดูดซึมมาอยู่ในกระแสเลือด เมื่อเลือดนี้ผ่านตับสารบางอย่างที่ดูดซึมเข้ามาไม่เหมาะต่อร่างกาย จะถูกตับเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมแก่ร่างกาย แล้วจึงจะผ่านจากตับทาง Hepatic veins เข้าสู่ inferior vena cava ต่อไป

### Portal vein

เป็นหลอดเลือดดำที่จะเข้าสู่ตับ แล้วแตกแขนงเล็กๆ ออกไปเป็น sinusoids ภายในตับ จากนั้น หลอดเลือดดำจะค่อยๆ รวมกันเป็น Hepatic veins ออกจากตับต่อไป Portal vein เกิดจากการรวมของ Superior mesenteric vein และ Splenic vein และยังมี Right gastric, Left gastric vein มาเทเข้าด้วย

Superior mesenteric vein นำเลือดดำมาจากลำไส้เล็กและครึ่งขวาของลำไส้ใหญ่

Splenic vein นำเลือดดำมาจากม้าม ตับอ่อน กระเพาะอาหาร และลำไส้ใหญ่ส่วนที่เหลือทั้งหมด




รูปที่ 8-43 แสดงการไหลเวียนเลือดในระบบปอร์ตัล

## 3.3 ความดันเลือด (Blood pressure)

การบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจจะมีผลเพิ่มความดันเลือดในหัวใจ ทำให้ลิ้นหัวใจเปิดออกสู่หลอดเลือด ความดันเลือดในหลอดเลือดแดงใหญ่ทั้ง aorta และ pulmonary artery สูงขึ้น ทำให้เกิดการไหลของเลือดไปตามหลอดเลือดต่างๆ

### 3.3.1 ความดันเลือดแดง (Arterial blood pressure)

ความดันเลือดในหลอดเลือดแดงใหญ่ เช่น aorta และ arteries ต่างๆ จะปรากฏเป็นคลื่นสูงต่ำเป็นจังหวะตามการเต้นของหัวใจ ความดันสูงสุดเกิดขึ้นขณะหัวใจบีบตัว เรียกว่า **Systolic blood pressure (SBP)** ความดันต่ำสุดที่ เกิดขึ้นขณะหัวใจคลายตัว เรียกว่า **Diastolic blood pressure (DBP)** ผลต่างของความดันทั้งสอง (คือขนาดของคลื่นความดัน) เรียก **Pulse pressure (PP)**

ความดันเฉลี่ย (mean arterial blood pressure, mABP) มีค่าอยู่ระหว่างความดัน systolic และ diastolic แต่มิใช่ที่ตรงกึ่งกลางระหว่างความดันทั้งสอง เนื่องจากช่วงเวลาการเกิดการคลายตัว มีระยะเวลานานเป็น 2 เท่า ของช่วงเวลาการบีบตัว ดังนั้นค่าแรงดันเฉลี่ยของหลอดเลือดแดง จึงเท่ากับค่า diastolic pressure บวกด้วยเศษหนึ่งส่วนสามของค่า pulse pressure

**mABP = 1/3 Pulse pressure + Diastolic**

ค่าปกติของ systolic pressure ในคนปกติประมาณ 120 มม.ปรอท และค่า diastolic pressure ประมาณ 80 มม.ปรอท (mmHg) นิยมเขียนค่าแรงดันเลือดเป็น 120/80 มม.ปรอท ตัวเลขแรกคือ systolic pressure ตัวเลขหลังแสดงค่า diastolic pressure

**ปัจจัยที่กำหนดค่าความดันเลือดในคนปกติ**

- Cardiac output คือ ปริมาณของเลือดซึ่งหัวใจส่งเข้าสู่ระบบหลอดเลือดแดงต่อนาที ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงการหดตัวของหัวใจ และอัตราการเต้นของหัวใจ ดังนั้นหากมองในรูปสมการ

**Cardiac output (CO) = Stroke volume (SV) x Heart rate (HR)**

แต่ทั้งนี้อัตราการเต้นของหัวใจต้องไม่เกิน 180 ครั้ง/นาที ถ้าหัวใจเต้นเร็วเกินขีดจำกัดนี้ ปริมาณเลือดที่ถูกส่งเข้าหัวใจห้องล่างจะลดลงอันเป็นผลให้ cardiac output ลดตามไปด้วย อนึ่ง ปริมาณเลือดไหลเวียนเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่ง ในการทำให้ cardiac output เปลี่ยนแปลงไป ถ้าปริมาณเลือดไหลเวียนเพิ่มขึ้นจนทำให้ cardiac output เพิ่มขึ้น blood pressure จะสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการเสียเลือดก็จะมีผลทำให้ blood pressure ลดลง

Peripheral resistance คือความต้านทานปลายทางของระบบไหลเวียน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่หลอดเลือดแดงขนาดเล็กโดยเฉพาะที่ arteriole ซึ่งนอกจากจะทำให้แรงต้านทานสูง เพราะมีขนาดเล็กแล้ว ยังมีกล้ามเนื้อเรียบล้อมอยู่โดยรอบ ขนาดของหลอดเลือดเล็ก ๆ นี้ ถูกบังคับด้วยกล้ามเนื้อเรียบ (precapillary sphincter) ที่ล้อมรอบอยู่นั้น ถ้ากล้ามเนื้อเรียบที่ผนังหดตัวจะทำให้หลอดเลือดตีบตัวแคบเข้าเรียกว่าเกิด vasoconstriction ตรงกันข้ามถ้ากล้ามเนื้อเรียบคลายตัวหลอดเลือดก็จะขยายตัว เรียกว่า vasodilatation

จากความสัมพันธ์ระหว่าง blood pressure กับ peripheral resistance ดังกล่าวแล้ว จะเห็นว่า ถ้าเกิดการตีบตัวของหลอดเลือด arteriole ทั่วร่างกาย จะทำให้ความต้านทานปลายทางรวม (total peripheral resistance)

เพิ่มขึ้น ย่อมมีผลให้ blood pressure สูงขึ้น ในภาวะตรงกันข้ามถ้ามีการขยายตัวของหลอดเลือด arteriole ทั่ว ๆ ไป ความต้านทานปลายทางรวม ก็จะลดลง Blood pressure ก็จะลดลง

ความหนืด (Viscosity) ของเลือดก็จะทำให้เกิดแรงต้านทานต่อการไหลเวียนของเลือด โดยปกติเลือดจะมีความหนืดเป็น 5 เท่าของน้ำ (4.5-5.5) ถ้าความหนืดของเลือดเพิ่มขึ้น Blood pressure ก็จะเพิ่มขึ้นโดยเหตุผลเดียวกันกับการเพิ่มความต้านทานปลายทางจากหลอดเลือดแดงขนาดเล็ก

สรุป ปัจจัยที่กำหนดแรงดันเลือดในคนปกติสามารถเขียนเป็น สมการได้ ดังนี้

$$BP = CO \times TPR$$

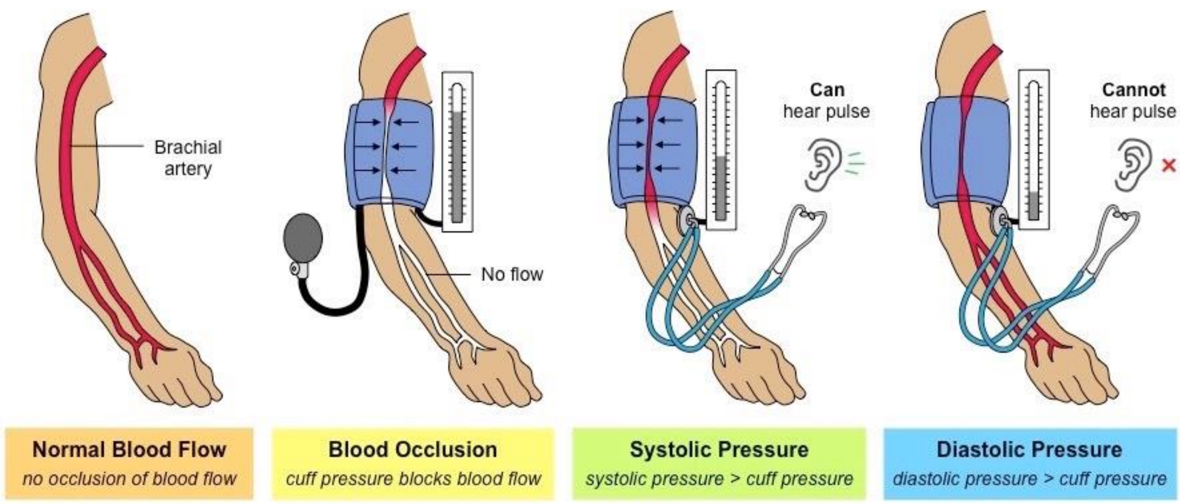
**การวัดความดันเลือดแดง**

ปกติเรามักวัดความดันเลือดแดง เพื่อตรวจสอบสภาวะการทำงานของระบบไหลเวียนเลือดและระบบอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยจะวัดทั้ง systolic pressure และ diastolic pressure ซึ่งสามารถวัดได้ 2 วิธี คือ

**1. วิธีวัดทางตรง** โดยการสอดท่อเข้าไปในหลอดเลือดแดงที่ต้องการวัดแล้วต่อกับเครื่องมือวัดความดันเลือด

**2. วิธีวัดทางอ้อม** โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า **Sphygmomanometer** เริ่มต้นโดยการใช้แผ่นยางที่มีผ้าหุ้ม (cuff) พันรอบต้นแขนเหนือหลอดเลือดแดง **brachial artery** จากนั้นบีบลูกยางเพื่ออัดลมเข้าไปใน cuff จนกว่าความดันภายใน cuff สูงกว่าความดัน systolic pressure ของ brachial artery ส่งผลให้ brachial artery แฟบ เลือดไหลผ่านมาไม่ได้ จากนั้นค่อย ๆ ปล่อยลมจาก cuff ออกช้า ๆ ในเวลาเดียวกันนั้นใช้ stethoscope วางบนหลอดเลือด brachial artery (วิธีนี้เรียกว่าการวัดโดยการฟังเสียง หรือ auscultation method) หรือคลำที่ชีพจรของหลอดเลือด radial artery (วิธีนี้เรียกว่า การวัดโดยการคลำ หรือ palpation method) เมื่อความดันภายใน cuff ลดลง brachial artery ที่อยู่ข้างใต้ซึ่งแฟบอยู่ก็จะเริ่มเปิดออกปล่อยให้เลือดไหลออกด้วยความเร็วสูงจนเกิดกระแสวนทำให้เกิดเสียง เรียกว่า **Korotkoff sound** และผนังหลอดเลือดเกิดเป็นคลื่นชีพจรขึ้น ขณะที่ลดความดันของ cuff ลงเรื่อย ๆ ปริมาณเลือดไหลผ่านหลอดเลือดนั้น จะเริ่มเพิ่มขึ้น จนกระทั่งความดันภายใน cuff ลดลงเท่ากับ diastolic pressure การไหลของเลือดก็จะเต็มที่เสียงที่ได้ยินก็จะหายไป

ค่าในระดับเสียงแรกที่ได้ยินถือว่าเป็นค่า systolic pressure ถ้าใช้วิธีการคลำก็จะตรงกับการเริ่มปรากฏของคลื่นชีพจร (pulse) ค่าในระดับที่เงียบหายไป ถือว่าเป็นค่าของ diastolic pressure แต่ในวิธีการวัดด้วยการคลำ (palpation method) ไม่สามารถวัดค่า diastolic pressure ได้




รูปที่ 8-44 แสดงวิธีการวัดความดันในหลอดเลือดแดงโดยวิธีอ้อม

ค่าความดันเลือดปกติของผู้ใหญ่ ประมาณ 120/80 มม.ปรอท ถ้าวัดความดันเลือดได้ต่ำกว่าปกติ เรียกว่า **ความดันโลหิตต่ำ (hypotension)** หากความดันสูงกว่าปกติเรียก **ความดันโลหิตสูง (hypertension)** ปกติมักพิจารณาว่ามีความดันโลหิตสูงเมื่อความดัน systolic/diastolic สูงเกิน 140/90 มม.ปรอท

### 3.3.2 การไหลเวียนในหลอดเลือดฝอย

หน้าที่ของหลอดเลือดฝอย คือ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนน้ำและโมเลกุลของสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ระหว่างเลือดและเนื้อเยื่อ ถึงแม้ว่าปริมาณเลือดที่อยู่ในหลอดเลือดฝอยมีเพียง 5% ของเลือดที่ไหลอยู่ แต่ต้องนับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดของระบบไหลเวียน เพราะว่าที่ผนังของหลอดลือดฝอยนี้เอง ที่ $O_2$ และอาหารถูกส่งเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ และ $CO_2$ และของเสียถูกส่งเข้าสู่กระแสเลือด นับว่าเป็นหน้าที่สำคัญอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตของเซลล์ทั้งหลายของร่างกาย

วิธีการแลกเปลี่ยนสารที่หลอดเลือดหลอดลือดฝอย

**1. Diffusion (การแพร่)** คือการเคลื่อนที่ของสารที่มีความเข้มข้นสูง ไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า เช่น $O_2$, $CO_2$ และกลูโคส

**2. Pinocytosis** เป็นการเคลื่อนของสารที่มีโมเลกุลใหญ่ และไม่ละลายในไขมันผ่านผนังเซลล์ เช่น โกลบิน และ ไฟบริโนเจน

**3. Filtration (การกรอง)** คือการเคลื่อนที่ของของเหลวผ่านหนังหลอดเลือดฝอย โดย อาศัยความดันต่าง ๆ คือ Hydrostatic pressure และ Oncotic pressure ที่มากระทำต่อผนังของหลอดลือดฝอย ทั้ง 2 ด้าน แรงเหล่านี้ได้แก่

**- Hydrostatic pressure ($P_c$) ของหลอดเลือดฝอย** ซึ่งเกิดจากความดันเลือดในหลอดเลือดฝอยที่พยายามดันของเหลวให้ผ่านออกจากหลอดเลือดฝอย ในส่วนต้นช่วงที่ต่อกับ arteriole (arteriole end) แรงดันมีค่าประมาณ 35 มม.ปรอท และส่วนท้ายที่ต่อกับ venule (venule end) มีค่าประมาณ 15 มม.ปรอท

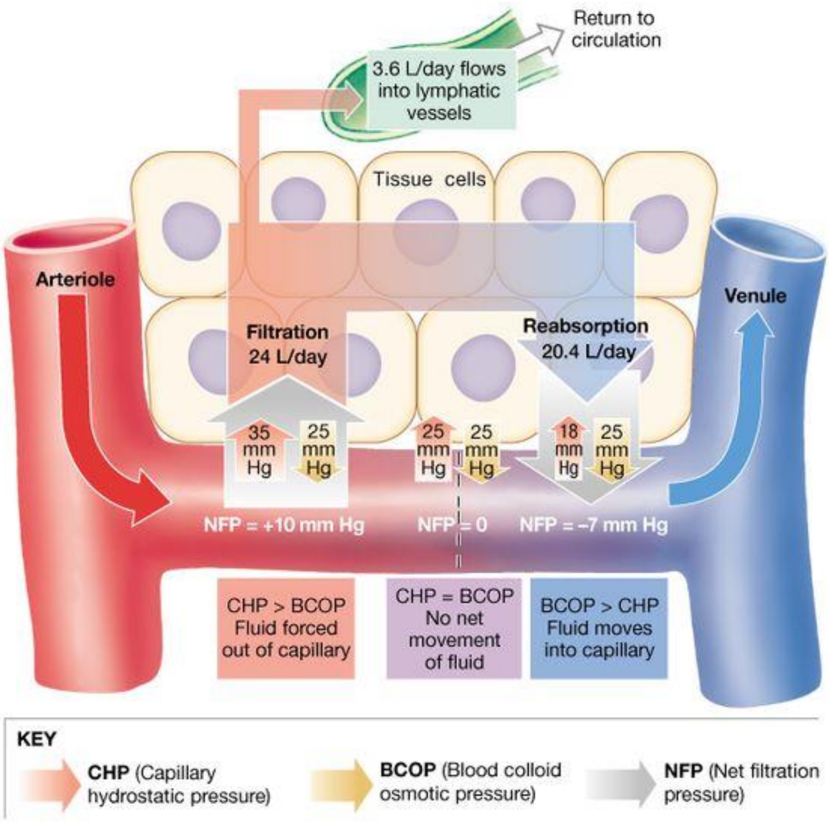
**- Hydrostatic pressure ($P_{IF}$) ของ Interstitial fluid** คือความดันนอกหลอดเลือดฝอย ซึ่งพยายามต้านของเหลวไม่ให้ออกจากหลอดเลือดฝอย มีค่าเท่ากับ 0 มม.ปรอท

**- Oncotic pressure ของ Capillary ($\pi_p$)** เป็นแรงที่คอยดึงของเหลวให้อยู่ภายในหลอดเลือดฝอย เกิดจากโปรตีนที่อยู่ในกระแสเลือด โดยเฉพาะอัลบูมิน ปกติมีค่าประมาณ 28 มม.ปรอท

**- Oncotic pressure ของ Interstitial fluid ($\pi_{IF}$)** เป็นแรงที่ส่งผลช่วยให้ของเหลวในหลอดเลือดออกมาจากภายนอกหลอดเลือดฝอย เกิดจากโปรตีนที่เล็ดลอดผ่านผนังหลอดเลือดฝอย เข้ามาอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ มีค่าประมาณ 3 มม.ปรอท

ผลต่างของความดันเหล่านี้ (net filtration pressure) ทำให้เกิดการไหลเข้า-ออกของ ของเหลวระหว่างหลอดเลือดฝอย และของเหลวระหว่างเซลล์ จะเห็นว่าส่วนต้นของหลอดเลือดฝอย (arteriole end) มีความดันที่พยายามทำให้ของเหลวไหลออกนอกหลอดเลือด คือ hydrostatic pressure ของหลอดเลือดฝอย = 35 มม.ปรอท ส่วนแรงที่ต้านคือ hydrostatic pressure ของของเหลวระหว่างเซลล์ = 0 มม.ปรอท แรงที่คอยดึงน้ำเข้าหลอดเลือด คือ oncotic pressure ของหลอดเลือดฝอย = 28 มม.ปรอท และแรงที่ต้านการดึงน้ำเข้าหลอดเลือดคือ Oncotic pressure ของ ของเหลวระหว่างเซลล์ = 3 มม.ปรอท

ดังนั้น net filtration pressure ของหลอดเลือดฝอยส่วนต้น = (35-0) – (28-3) = 10 มม.ปรอท จึงมีแรงที่ดันน้ำออกนอกหลอดเลือดฝอยได้




รูปที่ 8-45 แสดงผลของแรงที่ทำให้เกิดการกรองของสารน้ำที่หลอดเลือดฝอย

ที่ส่วนปลายของหลอดเลือดฝอย (venule end) มีความดันที่พยายามทำให้ของเหลวไหลออกนอกหลอดเลือดฝอย คือ hydrostatic pressure ของหลอดเลือดฝอย = 15 มม.ปรอท ส่วนแรงที่ต้านคือ hydrostatic pressure ของของเหลวระหว่างเซลล์ = 0 มม.ปรอท แรงที่ดึงน้ำเข้าหลอดเลือด คือ Oncotic pressure ของหลอดเลือดฝอย = 28 มม.ปรอท และแรงที่ต้านการดึงน้ำเข้าหลอดเลือด คือ Oncotic pressure ของของเหลวระหว่างเซลล์ = 3 มม.ปรอท

ดังนั้น Net filtration pressure ของหลอดเลือดฝอยส่วนปลาย = (15-0) – (28-3) = -10 มม.ปรอท ซึ่งมีค่าติดลบ น้ำจึงกลับเข้าสู่หลอดเลือดฝอยอีกครั้ง อย่างไรก็ตามปริมาณของเหลวที่เคลื่อนออกจากหลอดเลือดฝอยตอนต้นทางมีปริมาณมากกว่าปริมาณของของเหลวที่เคลื่อนเข้าสู่หลอดเลือดฝอย ด้านปลายทางของเหลวจึงเหลือค้างอยู่บางส่วน ซึ่งจะไหลกลับสู่ระบบไหลเวียนทางท่อน้ำเหลืองขนาดเล็ก ๆ ซึ่งจะค่อย ๆ รวมกันเป็นท่อใหญ่ขึ้นแล้วเข้าสู่หลอดเลือดดำใหญ่ต่อไป

### 3.3.3 ความดันเลือดดำ

หลอดเลือดดำ มีค่าความดันต่ำกว่าในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดฝอยแม้ว่าปริมาตรภายในหลอดเลือดดำจะมากกว่าหลอดเลือดอื่น ๆ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะหลอดเลือดดำมีความสามารถในการยืดขยายได้ดี ในคนนอนราบค่าความดันในหัวใจห้องบนขวามีค่าประมาณ 5 มม.ปรอท ส่วนความดันในหลอดเลือดดำทั่วร่างกาย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 11 ซม.น้ำ เท่านั้น เมื่อลุกขึ้นนั่งหรือยืน ความดันในหัวใจห้องบนขวาจะมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่ความดันในหลอดเลือดดำบริเวณต่าง ๆ ของร่างกายจะมีค่าแตกต่างกันไป เนื่องจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งขึ้นกับความแตกต่างของระดับของหลอดเลือดที่ห่างจากหัวใจ ปกติแล้วถือว่าระดับที่ต่ำกว่าหัวใจห้องบนขวาทุก ๆ 1

เซนติเมตร ความดันในหลอดเลือดดำจะเพิ่มขึ้น 0.77 มม.ปรอท เลือดเมื่อออกจากหัวใจไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายแล้วจะกลับเข้าสู่หัวใจเรียกว่า Venous return โดยปกติมีค่าเท่ากับ Cardiac output และเนื่องจากการไหลเวียนในหลอดเลือดดำมีความดันค่อนข้างต่ำมากไม่เพียงพอที่จะดันเลือดออกจากส่วนต่าง ๆ กลับเข้าสู่หัวใจได้เพียงพอจำเป็นต้องอาศัยกลไกต่าง ๆ ของร่างกายช่วย ดังนี้

1. ผลต่างของความดันในหลอดเลือดดำส่วนปลายกับความดันภายในหัวใจห้องบนขวา โดยปกติความดันในหัวใจห้องบนขวา จะมีค่าความดันต่ำมากใกล้ค่า 0 มม.ปรอท ในภาวะที่ทำให้ความดันในหัวใจห้องบนขวาเพิ่มขึ้นจะมีผลต้านการไหลกลับของเลือดจากหลอดเลือดดำ

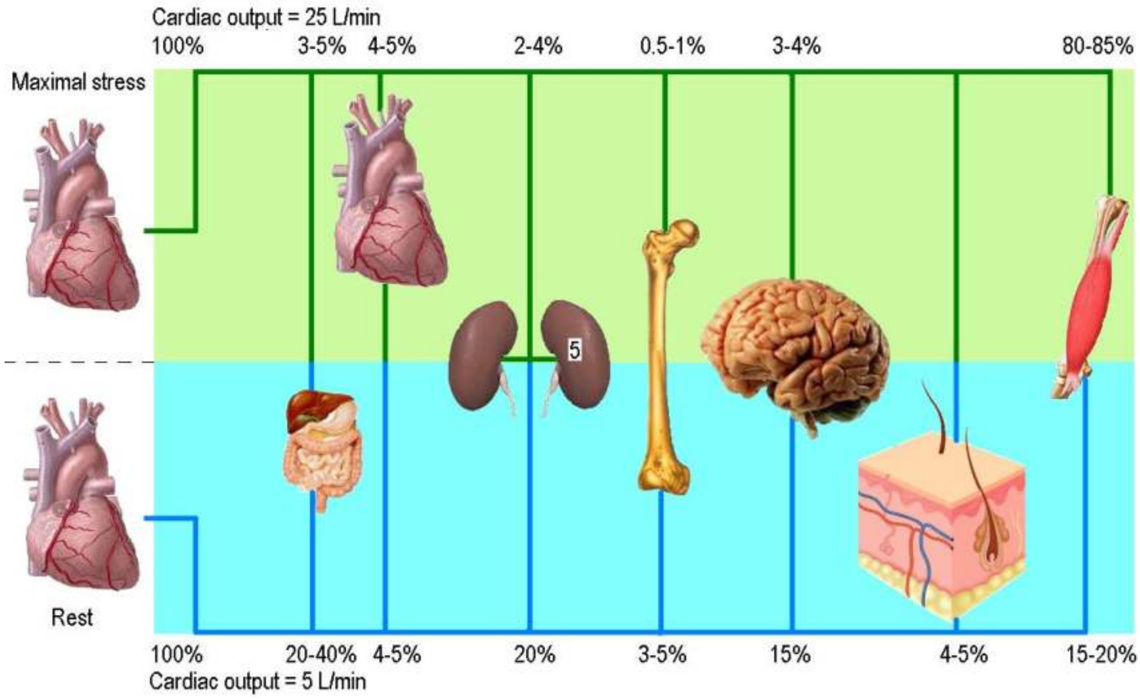
2. Thoraco - abdominal pump การไหลกลับของเลือดดำคืนสู่หัวใจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ช่วงการหายใจเข้าเลือดจะไหลกลับคืนสู่หัวใจมากขึ้นเนื่องจากความดันในช่องอกลดต่ำลงและความดันในช่องท้องเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงการหายใจออกเกิดผลตรงข้ามคือ Venous return จะลดลง เพราะความดันในช่องอกเพิ่มขึ้นและความดันในช่องท้องลดลง

3. Skeletal muscle pump การหดตัวของกล้ามเนื้อตามแขนขาหรือลำตัวจะกดหลอดเลือดดำที่อยู่ข้างใต้หรือข้าง ๆ ดันเลือดให้ไหลออกจากหลอดเลือดส่วนลิ้น (valves) ซึ่งอยู่ในหลอดเลือดดำจะจัดช่องการไหลของเลือดให้ไหลไปสู่หัวใจทางเดียว เลือดจึงถูกดันให้ไหลคืนกลับสู่หัวใจ

4. Venomotor tone ผนังของหลอดเลือดดำมีกล้ามเนื้อเรียบ ซึ่งถูกควบคุมจากประสาทซิมพาเทติก ในภาวะที่ cardiac output ลดลงหรือ blood pressure ลดลง จะมีการปรับตัวของระบบไหลเวียนทำให้มีการเพิ่ม Venomotor tone สูงขึ้น ผลทำให้หลอดเลือดดำมีการหดตัว ความดันในระบบไหลเวียนเพิ่มขึ้น

### 3.4 อัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะต่าง ๆ

อัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะใดมากหรือน้อยขึ้นกับอัตราเมตาบอลิค หรืออัตราการใช้ออกซิเจนของอวัยวะนั้นและหน้าที่ของอวัยวะนั้น เช่น หากเนื้อเยื่อมีอัตราเมตาบอลิคสูงอัตราการใช้ออกซิเจนก็สูงตาม กรณีเช่นนี้อัตราการไหลของเลือดผ่านเนื้อเยื่อนั้นจะมาก




รูปที่ 8-46 แสดงอัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะต่าง ๆ ทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย

อัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายยังขึ้นกับผลต่างความดันเลือดแดงและเลือดดำ และความต้านทานการไหลเนื่องจากหลอดเลือดในร่างกายแยกกิ่งแขนงออกไปตามอวัยวะต่าง ๆ มากมาย การจัดตัวของหลอดเลือดในร่างกายเป็นแบบขนาน ดังนั้นอัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะใดจึงเปลี่ยนแปลงได้แม้ว่าความดันเลือดไม่เปลี่ยนโดยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานการไหลโดยเฉพาะการเปลี่ยนขนาดรัศมีของหลอดเลือดแดง Arterioles และ Precapillary sphincter ขนาดของหลอดเลือดเหล่านี้ในอวัยวะต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงได้ภายใต้การควบคุมของระบบประสาท ฮอร์โมนในเลือด รวมทั้งระดับความดันออกซิเจนและปริมาณ Metabolites ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อบริเวณนั้น

# ตอนที่ 4
# การควบคุมการทำงานของระบบไหลเวียน

การควบคุมในระบบไหลเวียนเลือด อาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างศูนย์ควบคุม (cardiovascular control centers) ตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงในระบบไหลเวียน (cardiovascular sensors หรือ receptors) และอวัยวะสำแดงผล (effectors) ซึ่งได้แก่ หัวใจและหลอดเลือด

## 4.1 ศูนย์ควบคุมของระบบไหลเวียนเลือด

ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ประสาทหลายกลุ่มในสมองและไขสันหลัง รับสัญญาณประสาทจากตัวรับรู้ในบริเวณต่างๆ ของร่างกาย และจากศูนย์อื่นในสมองที่อยู่เหนือขึ้นไป รวมทั้งส่งสัญญาณออกไปยังศูนย์อื่น หรือไปยังอวัยวะสำแดงผล ศูนย์ควบคุมเหล่านี้ ได้แก่ ศูนย์ควบคุมเมดัลลา (medulla oblongata) ศูนย์ควบคุมในไฮโปทาลามัส ที่ศูนย์ควบคุมภายใน cerebral cortex และศูนย์ควบคุมในไขสันหลัง

**4.1.1 ศูนย์ควบคุมในเมดัลลา** ทำหน้าที่เป็นศูนย์ควบคุมการไหลเวียนเลือดในร่างกายหรือเรียกว่า vasomotor center ศูนย์ควบคุมใน medulla จะรับคลื่นสัญญาณประสาทจากส่วนต่างๆ ของร่างกายแล้วรวบรวมประเมินผล และส่งข้อมูลออกไปยังอวัยวะสำแดงผล เพื่อควบคุมความดันเลือดแดงให้อยู่ในระดับคงที่ โดยปรับการทำงาน ของหัวใจ (อัตราเต้นและแรงบีบตัว) และขนาดรัศมีของ หลอดเลือดเพื่อให้อวัยวะต่างๆของร่างกายได้รับเลือดพอเพียงตลอดเวลา ศูนย์ควบคุมเมดัลลา แบ่งเป็น 2 บริเวณใหญ่ ได้แก่ pressor area และ depressor area เมื่อใดก็ตามที่ความดันเลือดแดงในร่างกายจะสูงขึ้นหากกลุ่มเซลล์ประสาทในบริเวณ pressor area จะถูกกระตุ้น แต่เมื่อความดันเลือดแดงลดลง depressor area จะถูกกระตุ้น

**4.1.1.1 บริเวณ pressor area ประกอบด้วย 2 ศูนย์ย่อย ดังนี้**

**1) ศูนย์ที่ทำให้หลอดเลือดหดตัว (vasoconstrictor center)** ศูนย์นี้ส่งคลื่นประสาทออกตลอดเวลาแม้ในสภาวะปกติ จึงทำให้หลอดเลือดต่างๆ ของร่างกายหดตัว ด้วยความแรงระดับหนึ่ง เรียก basal vasomotor tone หากศูนย์นี้ส่งคลื่นประสาทออกมากขึ้นก็จะมีผลให้หลอดเลือดหดตัวมากขึ้น และหากส่งคลื่นประสาทออกน้อยลง หลอดเลือดจะขยาย คลื่นประสาทจากศูนย์นี้เปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ขึ้นกับอิทธิพลของคลื่นประสาทที่มาจากภายนอก เช่น จาก depressor area จาก chemoreceptors และจาก higher brain centers

**2) ศูนย์เร่งการทำงานของหัวใจ (cardiostimulator center)** ในขณะที่ร่างกายอยู่ในสภาวะพักจะไม่มีคลื่นประสาทออกจากศูนย์นี้ หรือมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

**4.1.1.2 บริเวณ depressor area** ประกอบด้วย 2 ศูนย์ย่อย คือ

**1) ศูนย์ลดการหดตัวของหลอดเลือด (vasodepressor center)** ศูนย์นี้จะส่งสัญญาณประสาทเมื่อถูกกระตุ้นไปกดการทำงานของ vasoconstrictor center ใน pressor area ให้มีผลลด vasomotor tone นั่นผลคือ ทำให้หลอดเลือดขยาย

**2) ศูนย์ลดการทำงานของหัวใจ (cardioinhibitor center)** ศูนย์นี้ส่งคลื่นประสาทไปตามเส้นประสาทเวกัส ไปยังหัวใจตลอดเวลา แม้ในขณะที่ร่างกายอยู่ในสภาวะพัก

ศูนย์ควบคุมใน medulla จะรับคลื่นสัญญาณ ประสาทจากส่วนต่างๆ ของร่างกายแล้วรวบรวม ประเมินผลและส่งข้อมูลออกไปยังอวัยวะสำแดงผล เพื่อควบคุมความดันเลือดแดงให้อยู่ในระดับคงที่ โดยปรับการทำงานของหัวใจ (อัตราเต้นและแรงบีบตัว) และขนาดรัศมีของหลอดเลือดเพื่อให้อวัยวะต่างๆ ของร่างกายได้รับเลือดพอเพียงตลอดเวลา

**4.1.2 ศูนย์ควบคุมใน hypothalamus** ในสภาวะปกติอาจไม่มีคลื่นประสาทออกจากไฮโปทาลามัส ไปยังศูนย์ควบคุมการทำงานของหัวใจ และศูนย์ควบคุมขนาดของหลอดเลือด แต่ในบางสภาวะไฮโปทาลามัส สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบไหลเวียนได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงของระบบไหลเวียนเลือดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอารมณ์ เช่น โกรธ การออกกำลังกาย

**4.1.3 ศูนย์ควบคุมภายใน cerebral cortex** มีหลายบริเวณใน cerebral cortex ที่สามารถส่งคลื่นประสาทไปกระตุ้นหรือยับยั้งการทำงานของ vasomotor center โดยมีผลต่อระบบประสาทซิมพาเทติก ที่มาควบคุมการหดตัวของหลอดเลือดของร่างกาย เช่น ทำให้หลอดเลือดหดตัวมากขึ้นหรือทำให้หลอดเลือดขยาย นอกจากนี้ยังมีผลต่อเส้นประสาทซิมพาเทติกที่ไปกล้ามเนื้อลาย ทำให้หลอดเลือดของกล้ามเนื้อลายขยาย มีผลให้เลือดไหลไปสู่กล้ามเนื้อได้มากขึ้น

**4.1.4 ศูนย์ควบคุมในไขสันหลัง** ในสภาวะปกติ ศูนย์ควบคุมนี้ไม่ค่อยมีบทบาทต่อการควบคุมในระบบไหลเวียนเลือด

## 4.2 ตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงในระบบไหลเวียนเลือด

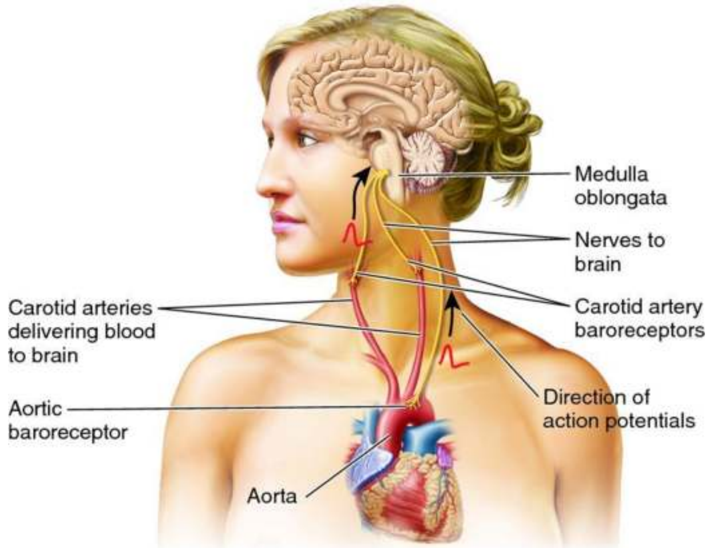
Arterial baroreceptor เป็นตัวรับรู้ที่ตอบสนองต่อการยืดขยายของหนังหลอดเลือดอยู่บริเวณ carotid sinus, arch of aorta และ common carotid artery ถ้าผนังหลอดเลือดบริเวณเหล่านี้ถูกยืดขยายออก เนื่องจากความดันเลือดที่สูงขึ้น จะมีการกระตุ้นตัวรับรู้เหล่านี้ ให้ส่งคลื่นประสาทไปตามเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 และ 10 ไปยังศูนย์ควบคุม ได้แก่ vasomotor center ในบริเวณเมดัลลา โดยมี 3 กลไกหลัก ดังนี้

1) ยับยั้ง cardioacceleratory center และกระตุ้น cardioinhibitory center ซึ่งลดการทำงานของซิมพาเทติก และเพิ่มการทำงานของพาราซิมพาเทติก ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจช้าลง การบีบตัวของหัวใจช้าลงและปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที (cardiac output, CO) ลดลง

2) ยับยั้ง vasomotor center ทำให้มีการขยายตัวของหลอดเลือดแดง ส่งผลให้แรงต้านต่อการไหลของเลือด (peripheral resistance) ลดลง

3) การยับยั้ง vasomotor center ยังทำให้มีการขยายตัวของหลอดเลือดดำ ส่งผลให้เลือดถูกกักเก็บไว้ในหลอดเลือดดำเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณเลือดไหลกลับเข้าสู่หัวใจลดลง

ตัวรับรู้ baroreceptor นี้จะทำงานได้ดี เมื่อความดันเลือดอยู่ในช่องระหว่าง 60 ถึง 160 มม.ปรอท




รูปที่ 8-47 แสดงตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลง Baroreceptor

### 4.3 การควบคุมการทำงานของหลอดเลือด

การควบคุมความดันเลือด มีการควบคุมการทำงานของหัวใจ (ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น) และการควบคุมการทำงานของหลอดเลือด ดังนี้

**4.3.1 การควบคุมรัศมีของหลอดเลือด** ประกอบด้วย 2 กลไก คือ

**4.3.1.1 การควบคุมทั่วร่างกาย (Central control)** โดยการทำงานของประสาทอัตโนมัติ สารเคมีและฮอร์โมน

**1) กลไกที่ผ่านทางเส้นประสาทอัตโนมัติ** คลื่นประสาทออกจากศูนย์ควบคุมไปยังหลอดเลือดต่างๆ โดยผ่านทางเส้นประสาทอัตโนมัติ ได้แก่

=> Sympathetic vasoconstrictor fibers คลื่นประสาทที่ถูกส่งไปตามใยประสาทนี้จะมีผลให้กล้ามเนื้อเรียบในผนังของหลอดเลือดต่างๆ โดยเฉพาะ arteries เส้นเล็กๆ และ arterioles หดตัว การตอบสนองนี้แตกต่างกันไปในแต่ละอวัยวะ พบว่าการหดตัวจะมากที่สุดในที่ผิวหนังและไต การหดตัวจะเกิดปานกลางหรือน้อยในกล้ามเนื้อลาย ลำไส้ และตับ และจะไม่พบการหดตัวที่หัวใจและสมอง

=> Sympathetic vasodilator fibers ใยประสาทชนิดนี้จะส่งไปยังหลอดเลือดในกล้ามเนื้อลายและอวัยวะเพศ (ซึ่งมีใยประสาท cholinergic vasodilation ทั้งแขนงซิมพาเทติก และพาราซิมพาเทติกมาควบคุม) เมื่อกระตุ้นใยประสาทนี้จะทำให้หลอดเลือดขยาย ทำให้เลือดไหลไปสู่อวัยวะเหล่านี้ได้มากขึ้น

=> Parasympathetic vasodilator action การกระตุ้นใยประสาท พาราซิมพาเทติกที่ไปยังต่อมมีท่อบางแห่ง เช่น ต่อมน้ำลาย และต่อมเหงื่อ นอกจากนี้ยังพบใยประสาทชนิดนี้ไปยังเนื้อเยื่อที่ช่วยทำให้อวัยวะเพศแข็งตัว

**2) กลไกทางสารเคมี และฮอร์โมน**

=> Epinephrine และ norepinephrine สารทั้งสองเป็นฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมหมวกไตชั้นใน ซึ่งส่วนใหญ่จะให้อิพิเนฟริน (epinephrine) การหลั่งฮอร์โมนทั้งสองนี้ขึ้นอยู่กับการกระตุ้นของปลายประสาทซิมพาเทติกที่มายังต่อมหมวกไต สำหรับนอร์อิพิเนฟริน (norepinephrine) ยังพบได้ที่ปลายประสาทของเส้นประสาท sympathetic vasoconstrictor ที่ไปยังหลอดเลือดต่างๆ โดยทั่วไปแล้วฮอร์โมนทั้งสองนี้มีฤทธิ์ต่อหลอดเลือดคล้ายกัน คือ ทำให้หลอดเลือดของอวัยวะต่างๆ หดตัว และยังมีผลกระตุ้นการทำงานของหัวใจ

สำหรับหลอดเลือดแดงของกล้ามเนื้อลายซึ่งหดตัวโดยนอร์อิพิเนฟริน แต่อาจหดตัวหรือขยายตัวโดยอิพิเนฟริน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนี้ในกระแสเลือด หากความเข้มข้นต่ำหลอดเลือดจะขยาย แต่หากความเข้มข้นสูงขึ้นหลอดเลือดจะหดตัว ซึ่งหลอดเลือดจะหดตัว หรือขยายขึ้นอยู่กับการกระตุ้นของฮอร์โมนต่อตัวรับที่ผนังหลอดเลือดนั้น

ตัวรับที่ตอบสนองต่อ อิพิเนฟริน และ นอร์อิพิเนฟริน หรือสารอื่นๆ ในกลุ่ม catecholamines เรียก adrenergic receptors ซึ่งพบได้ที่ผนังเซลล์กล้ามเนื้อ เรียบในผนังหลอดเลือดและอวัยวะอื่นๆ บางแห่งในร่างกาย adrenergic receptors แบ่งได้เป็น 2 พวก ได้แก่ alpha ($\alpha$) และ beta ($\beta$) receptors พบว่าการกระตุ้น alpha receptor จะมีผลให้กล้ามเนื้อในผนังหลอดเลือดหดตัว ส่วนการกระตุ้น beta receptor จะทำให้กล้ามเนื้อในผนังหลอดเลือดคลายตัว มีผลให้หลอดเลือดขยายกล้ามเนื้อเรียบของผนังหลอดเลือดส่วนใหญ่ของ ร่างกายจะมี receptors ทั้งชนิด alpha และ beta ซึ่งการตอบสนองของหลอดเลือดต่ออิพิเนฟริน จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการกระตุ้นของฮอร์โมนนี้ต่อตัวรับทั้งสอง

หากการกระตุ้นกระทำต่อ alpha receptors มากกว่า beta receptors กล้ามเนื้อเรียบในผนังหลอดเลือดจะหดตัว ทำให้หลอดเลือดตีบ หาก beta receptors ตอบสนองมากกว่า หลอดเลือดจะขยาย หลอดเลือด

ของอวัยวะต่างๆ ส่วนใหญ่จะหดตัวโดยอิพิเนฟรินและนอร์อิพิเนฟริน เนื่องจากมีผลกระตุ้น alpha receptor ยกเว้นหลอดเลือดของกล้ามเนื้อลายที่ซึ่งอิพิเนฟรินที่ความเข้มข้น ต่ำจะกระตุ้น beta receptors เป็นส่วนใหญ่ มีผลให้หลอดเลือดของกล้ามเนื้อลายขยาย หากความเข้มข้นสูงขึ้นจะกระตุ้น alpha receptors ด้วย ซึ่งให้การตอบสนองที่รุนแรงกว่า จึงมีผลกลับกลายให้หลอดเลือดหดตัว

**3) สารอื่นๆ** สารอื่นๆ ที่มีผลต่อขนาดของหลอดเลือดและระบบไหลเวียนของเลือด ได้แก่ angiotensin ซึ่งมีฤทธิ์ทำให้หลอดเลือดหดตัว และ Antidiuretic hormone (ADH หรือ vasopressin) จากต่อมใต้สมองส่วนหลังก็มีผลให้หลอดเลือดหดตัว สารบางอย่างในร่างกายและยาหลายชนิดมีคุณสมบัติทำให้หลอดเลือดขยาย โดยกระตุ้นการหลั่งของไนตริกออกไซด์ (nitric oxide, NO) จากผนังหลอดเลือด ไนตริกออกไซด์มีฤทธิ์ทำให้ผนังหลอดเลือดคลายตัว

**4.3.1.2 การควบคุมเฉพาะที่ (Local control)** เป็นกลไกลที่เกิดขึ้นกับหลอดเลือดเฉพาะอวัยวะ จากการหดตัวหรือคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบในผนังของหลอดเลือด โดยพบว่าอวัยวะบางแห่ง ได้แก่ สมอง หัวใจ กล้ามเนื้อลาย ลำไส้ ตับ และไต อัตราไหลของเลือดที่ไหลผ่านจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความดันที่เปลี่ยนไป เรียกความสามารถในการปรับความต้านทานของหลอดเลือดนี้ว่า **autoregulation** เว้นแต่ถ้าความดันต่ำกว่า 70 มม.ปรอท หรือสูงกว่า 150 มม.ปรอท จึงพบอัตราไหลของเลือดจะเปลี่ยนไปตามความดัน

*****************************************

## ตอนที่ 5
## การไหลเวียนเลือดล้มเหลว (Circulatory failure)

ระบบไหลเวียนเลือดทำหน้าที่เป็นระบบขนส่งสารต่างๆ ทั้งออกซิเจน อาหาร และสารที่จำเป็นไปยังเซลล์ของร่างกายอย่างพอเพียง พร้อมกับนำของเสียหรือสารที่เกินพอไปยังอวัยวะที่ทำหน้าที่กำจัดออก เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานและการดำรงชีวิตของเซลล์และของร่างกาย การทำหน้าที่ของระบบไหลเวียนอาศัยกลไกการทำงานที่เกี่ยวเนื่องกันขององค์ประกอบต่างๆ หากกลไกเหล่านี้ทำงานผิดปกติจนทำให้การทำหน้าที่ของระบบไหลเวียนล้มเหลว ย่อมส่งผลต่อการทำงานของร่างกาย

**5.1 สาเหตุ** การไหลเวียนเลือดล้มเหลว เกิดได้จากสาเหตุต่างๆ กัน ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่

**5.1.1 เกิดจาก systemic venous return ลดลง** กลุ่มนี้มักทำให้เกิดการคั่งของของเหลวในระบบหลอดเลือดดำ เกิดจากปัจจัยใหญ่ๆ ดังนี้

1) ปัจจัยที่มิใช่ความผิดปกติของหัวใจ เช่น การเสียเลือด (hemorrhage) และช็อก (shock) หลอดเลือดอวัยวะต่างๆสูญเสียการควบคุม (peripheral vascular collapse)
2) ปัจจัยที่เกิดจากความผิดปกติของหัวใจ ส่งผลให้เลือดไหลกลับสู่หัวใจน้อยลง เช่น เยื่อหุ้มหัวใจผิดปกติ ลิ้น tricuspid ของหัวใจตีบ (stenosis)

**5.1.2 เกิดจากความผิดปกติของหัวใจในการบีบตัวและรับเลือดเข้าหัวใจ** เนื่องจากหัวใจมีโครงสร้างผิดปกติ ทำให้ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวเนื่องเป็นลำดับไป จนทำให้ความดันเลือดในหลอดเลือดแดง systemic หรือ pulmonary circulation สูงขึ้น เช่น ลิ้น semilunar ตีบ, ลิ้น mitral ของหัวใจแข็งหรือปิดไม่สนิท เป็นต้น

**5.1.3 เกิดจากโรคของกล้ามเนื้อหัวใจล้มเหลว** เช่น การอุดกั้นของหลอดเลือดโคโรนารี ทำให้กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดและตาย

**5.1.4 เกิดจาก cardiac output ของ ventricle** ข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างมีปริมาณสูงผิดปกติเป็นเวลานาน เช่น โรคโลหิตจาง (anemia) โรคเหน็บชา จากการขาดวิตามินบี 1 เป็นต้น

**5.2 Circulatory shock (ช็อกจากระบบไหลเวียน)**

หมายถึง สภาวะผิดปกติของร่างกายเนื่องจากเลือดไหลเวียนไปเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายไม่เพียงพอจนทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อ ซึ่งมักจะพบว่าในขณะนั้นจะมีความดันเลือดต่ำมาก ซึ่งถ้าหากภาวะที่เนื้อเยื่อต่าง ๆ ขาดเลือดยังดำเนินต่อไปและไม่ได้รับการแก้ไขจะทำให้เสียชีวิตในที่สุด

**ระยะของช็อก**

**1. Initial หรือ Hypotensive stage** เป็นระยะเริ่มต้นของช็อกที่ร่างกายยังสามารถปรับตัวแก้ไขได้ (compensated) แม้ว่า cardiac output และความดันเลือดลดลง แต่กลไกของระบบไหลเวียนและระบบอื่นสามารถทำให้ร่างกายกลับเข้าสู่สภาวะปกติได้

**2. Progressive stage** เป็นระยะช็อกที่ทำให้ระบบไหลเวียนเลือดเสื่อมลง ร่างกายไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยตัวเอง หากไม่ได้รับการรักษาช็อกจะดำเนินต่อไปและเพิ่มความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ จนเสียชีวิต

**3. Irreversible shock** เป็นระยะช็อกรุนแรงที่ไม่สามารถช่วยให้รอดชีวิตได้ เรียกว่าอยู่ในระยะที่ไม่สามารถแก้ไขให้กลับคืน (irreversible) แม้ว่าการช่วยเหลือช็อกในระยะนี้จะสามารถทำให้ Cardiac output และความดันเลือดกลับสู่ปกติได้แต่จะอยู่ได้เพียงชั่วครู่ ก็จะตกกลับไปอยู่ที่ศูนย์อีก

**5.3 ผลของช็อกต่อร่างกาย**

1) ลดอัตราเมตาบอลิค เพราะเซลล์ร่างกายขาดอาหารและออกซิเจน เนื่องจาก cardiac output ต่ำ

2) กล้ามเนื้ออ่อนกำลังลง พบได้ตั้งแต่ต้นที่เริ่มเกิดช็อก

3) อุณหภูมิร่างกายลดลง เนื่องจากเมตาบอลิคของร่างกายลดลง

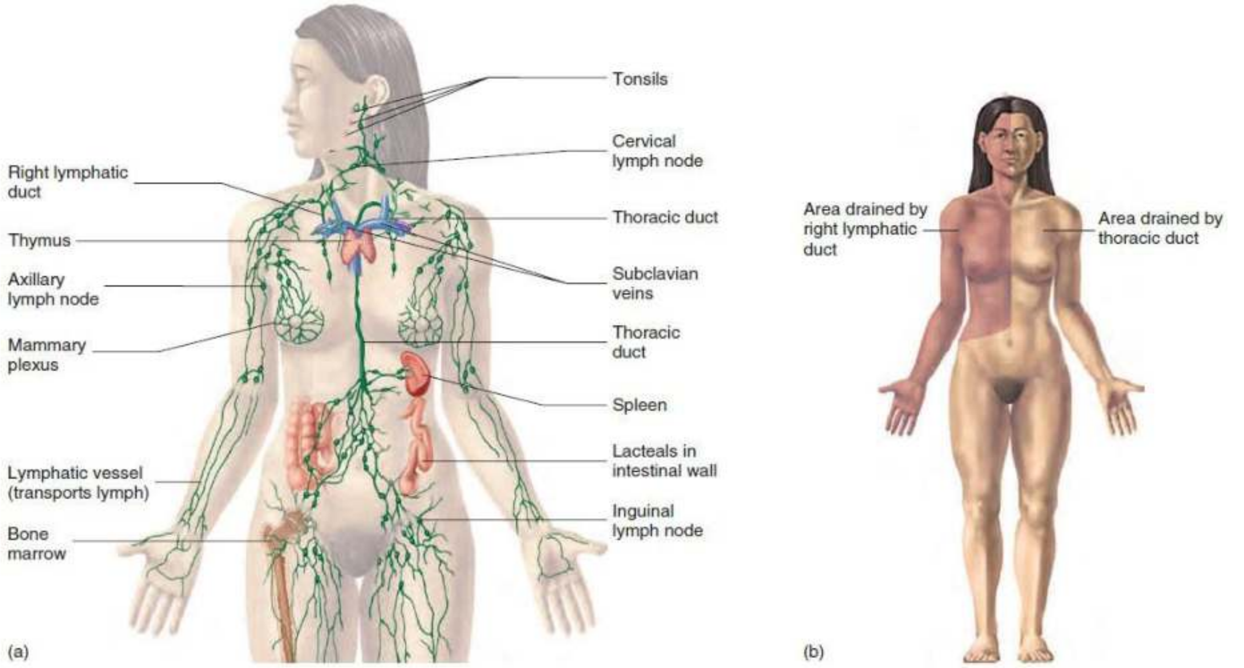
4) ผลต่อสมอง ผู้ป่วยอาจรู้สึกตัวดีในระยะแรก หากช็อกดำเนินต่อไป อาจมีผลให้สมองมึนงงจนถึงไม่รู้สึกตัว ทั้งศูนย์ควบคุมระบบไหลเวียนและศูนย์ควบคุม การหายใจทำงานล้มเหลว เมื่อช็อกดำเนินไปถึงระยะท้ายๆ

5) ลดการทำงานของไต เลือดไหลผ่านไตน้อย มักทำให้การสร้างปัสสาวะน้อย และเนื่องจากไตมีอัตราเมตาบอลิคสูง การขาดเลือดจึงมักทำให้เซลล์บุผิวท่อไตตาย (tubular necrosis) เกิดการหลุดลอกและอุดท่อไต ผู้ป่วยอาจได้รับการรักษาให้ทุเลาจากช็อก แต่อาจเสียชีวิตในเวลาต่อมาด้วยสภาวะมีการคั่งของของเสียในร่างกาย เนื่องจากภาวะไตวาย

*******************************************

## ตอนที่ 6
## ระบบน้ำเหลือง (Lymphatic system)

ระบบน้ำเหลืองเป็นระบบลำเลียงสารต่าง ๆ ให้กลับเข้าสู่เส้นเลือด โดยเฉพาะสารอาหารพวกกรดไขมันที่ดูดซึมจากลำไส้เล็ก ระบบน้ำเหลืองไม่มีอวัยวะสำหรับสูบฉีดไปยังส่วนต่าง ๆ ประกอบไปด้วย น้ำเหลือง (Lymph) ท่อน้ำเหลือง (Lymph vessel) และอวัยวะน้ำเหลือง (Lymphatic organ)




รูปที่ 8-48 แสดงอวัยวะน้ำเหลืองสำคัญ ได้แก่ ต่อมทอนซิล (tonsil), ต่อมน้ำเหลือง (lymph node) ม้าม (spleen) และต่อมไทมัส (thymus)

### 6.1 หน้าที่ของระบบน้ำเหลือง

1. ลำเลียงของเหลวกลับสู่ระบบหมุนเวียนเลือด ระบบน้ำเหลืองจะทำหน้าที่ลำเลียงของเหลวส่วนเกินนี้กลับทางท่อน้ำเหลืองและกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดอีกครั้ง ซึ่งการลำเลียงของเหลวส่วนเกิดกลับนี้จะช่วยให้ร่างกายยังคงรักษาสมดุลปริมาตรและความดันของเลือดในระดับปกติไว้ได้ และยังป้องกันการบวมน้ำจากการสะสมของเหลวส่วนเกินรอบ ๆ เนื้อเยื่ออีกด้วย

2. ลำเลียง สารไขมันบางส่วนจากอาหารในลำไส้ที่ถูกระบบน้ำเหลืองดูดซับ ซึ่งระบบน้ำเหลืองจะลำเลียงสารอาหารที่เป็นไขมันเหล่านี้เพื่อส่งคืนกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด นอกจากนี้ยังลำเลียงสารอาหารหรือของเสียที่มีโมเลกุลใหญ่จากช่องว่างระหว่างเซลล์ ไปตามท่อน้ำเหลืองและจะถูกคัดกรองที่ต่อมน้ำเหลือง รวมถึงการลำเลียงเซลล์เม็ดเลือดขาวที่จะจัดการกับเชื้อโรคไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

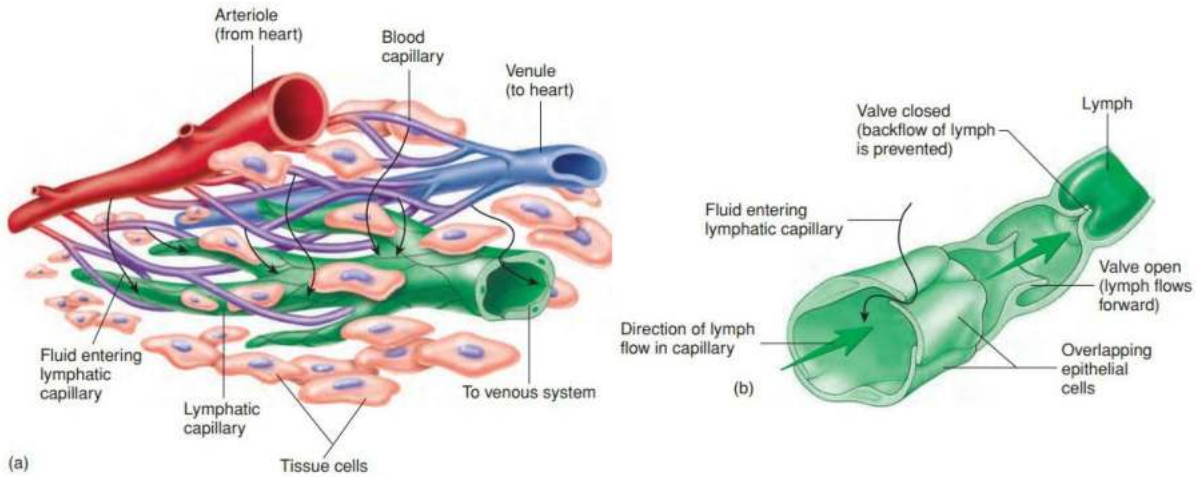
3. จัดการกับเชื้อโรค เชื้อโรคต่าง ๆ ที่เข้าสู่ร่างกายทางปาก จมูก หรือแม้แต่เศษซากเซลล์ที่เสียหายหรือตายแล้ว ระบบน้ำเหลืองจะจัดการกับสิ่งเหล่านี้ ทั้งโดยการกรองที่ต่อมน้ำเหลือง รวมถึงสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวมากขึ้นเพื่อมากำจัดเชื้อโรค

## 6.2 โครงสร้างของระบบน้ำเหลือง

โครงสร้างของระบบน้ำเหลือง ประกอบด้วย น้ำเหลือง ท่อน้ำเหลือง อวัยวะในระบบน้ำเหลือง

### 6.2.1 น้ำเหลือง (Lymph)

เป็นส่วนที่มาจากพลาสมา ซึ่งถูกแรงดัน (hydrostatic pressure) ดันออกมาจากหลอดเลือดฝอย มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ประกอบไปด้วย น้ำ โปรตีน เกลือ กรดไขมัน เม็ดเลือดขาว และสารอื่น ๆ ที่ต้องลำเลียงกลับไปยังระบบหมุนเวียนเลือด โดยลำเลียงส่งไปทางระบบน้ำเหลืองตามลำดับ ดังนี้ intercellular fluid (ช่องว่างระหว่างเซลล์) ---> lymph capillary (ท่อน้ำเหลืองฝอย) ---> lymph vessels (ท่อน้ำเหลือง) ----> rt. lymphatic duct (ท่อน้ำเหลืองจากแขนขวาและศีรษะซีกขวา) และ thoracic duct (ท่อน้ำเหลืองจากแขนซ้ายและส่วนอื่นๆ ของร่างกาย) ---> right subclavian vein และ left subclavian vein ซึ่งการลำเลียงของเหลวกลับนี้จะช่วยให้ร่างกายยังคงรักษาสมดุลปริมาตรและความดันของเลือดในระดับปกติไว้ได้ และยังป้องกันการบวมน้ำจากการสะสมของเหลวส่วนเกินรอบ ๆ เนื้อเยื่ออีกด้วย




รูปที่ 8-49 แสดง Lymph capillaries (หลอดน้ำเหลืองฝอย)

### 6.2.2 ท่อน้ำเหลือง (Lymphatic Vessels)

ท่อน้ำเหลืองพบได้ทั่วไปในร่างกายของเรา มีลักษณะคล้ายกับเส้นเลือดดำและเส้นเลือดฝอยในระบบหมุนเวียนเลือด และมีลิ้นปิดเปิดเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำเหลือง ท่อน้ำเหลืองจะวางตัวขนานกับหลอดเลือดและคอยนำของเหลวส่วนเกินที่อยู่รอบ ๆ เนื้อเยื่อกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด โดยท่อน้ำเหลืองจากบริเวณต่าง ๆ จะค่อย ๆ รวมกันเป็นท่อที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ลำเลียงของเหลวผ่านต่อมน้ำเหลืองเพื่อกรองเชื้อโรคต่าง ๆ ก่อนจะระบายน้ำเหลืองเข้าสู่เส้นเลือดดำที่ชื่อว่า right subclavian vein และ left subclavian vein

ระบบน้ำเหลืองไม่มีอวัยวะสำหรับสูบฉีดเหมือนในระบบไหลเวียนเลือด ดังนั้นการที่น้ำเหลืองสามารถไหลจาก Lymph capillary ไปสู่หลอดน้ำเหลืองในระดับต่างๆ จนกลับเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดได้ อาศัยปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. การหดตัวของกล้ามเนื้อบริเวณใกล้เคียงทำให้เกิดการกด หลอดน้ำเหลือง ดันให้น้ำเหลืองเคลื่อนที่
2. ลิ้น (valve) ของหลอดน้ำเหลืองช่วยทำให้น้ำเหลืองไหลไปทางเดียวไม่มีการไหลกลับ ซึ่งคล้ายกับการทำงานที่ผนังของหลอดเลือดดำ

3. โดยแรงดูดจาก Negative pressure ในทรวงอกขณะหายใจ ซึ่งในขณะหายใจเข้ากระบังลมจะเคลื่อนตัวลงสู่ช่องท้องส่งผลให้ความดันในช่องท้องสูงขึ้นทำให้น้ำเหลืองเคลื่อนที่จากช่องท้องขึ้นสู่ช่องอกเพราะเป็นช่วงที่ช่องอก มีความดันต่ำกว่า

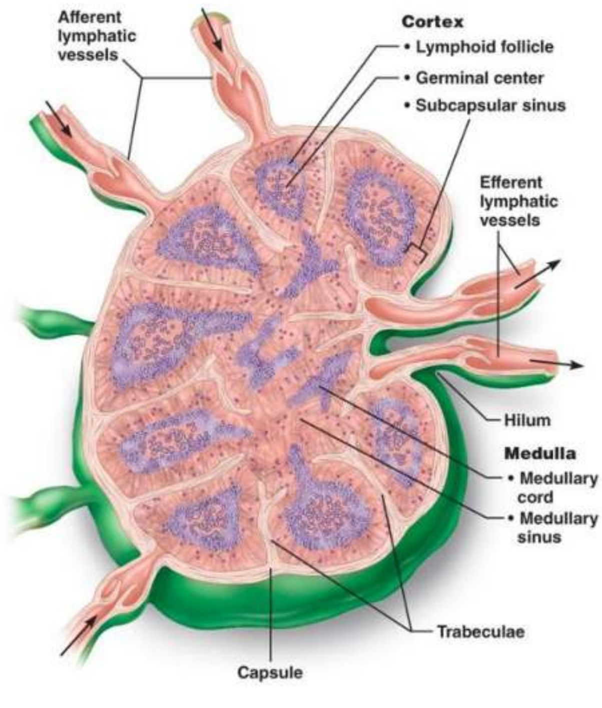
**6.2.3 อวัยวะในระบบน้ำเหลือง (Organs of the lymphatic system)**

เป็นอวัยวะที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อน้ำเหลือง มีเนื้อยึดต่อเป็นเปลือกหุ้ม (capsule) อวัยวะเหล่านี้ ได้แก่ ต่อมน้ำเหลือง (lymph node) ต่อมทอนซิล (tonsil) ต่อมไทมัส (thymus) ม้าม (spleen)

**1) ต่อมน้ำเหลือง (Lymph node)** เป็นอวัยวะน้ำเหลือง ที่พบตามทางเดินน้ำเหลืองทั่วร่างกาย มีรูปร่างคลายเม็ดถั่ว มีส่วนที่เว้าเข้าไป เรียกว่า hilum เป็นทางเข้าออกของหลอดเลือดที่มาเลี้ยงต่อมน้ำเหลือง และเป็นทางออกของน้ำเหลืองที่กรองแล้ว ต่อมน้ำเหลืองเป็นอวัยวะที่มีเปลือกหุ้มชัดเจน เปลือกเป็นเนื้อยึดต่อชนิดที่มีเส้นใยหนาแน่น และมีส่วนยื่นลงไปในเนื้อต่อมเรียกว่า trabeculae ต่อมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

**=> ชั้นเปลือกนอก (cortex)** ประกอบด้วยกลุ่มของลิมโฟซัยท์ที่อยู่กันอย่างหนาแน่น พบมี lymphatic nodule กระจายอยู่ทั่วไป

**=> ชั้นใน (medulla)** ประกอบด้วย lymphocytes และ plasma cells เรียงตัวเป็นแถวเรียกว่า medullary cord ซึ่งเซลล์เหล่านี้จะเรียงตัวอยู่รอบ ๆ หลอดเลือดขนาดเล็กที่มีการแตกแขนงเชื่อมโยงกัน




รูปที่ 8-50 แสดงกายวิภาคของต่อมน้ำเหลือง

**หน้าที่ของต่อมน้ำเหลือง**

1. ผลิต lymphocytes

2. ทำหน้าที่กรองน้ำเหลือง โดยการกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับน้ำเหลือง โดยการทำงานของเซลล์มาโครเฟจ (macrophages)

3. ทำหน้าที่ในการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย

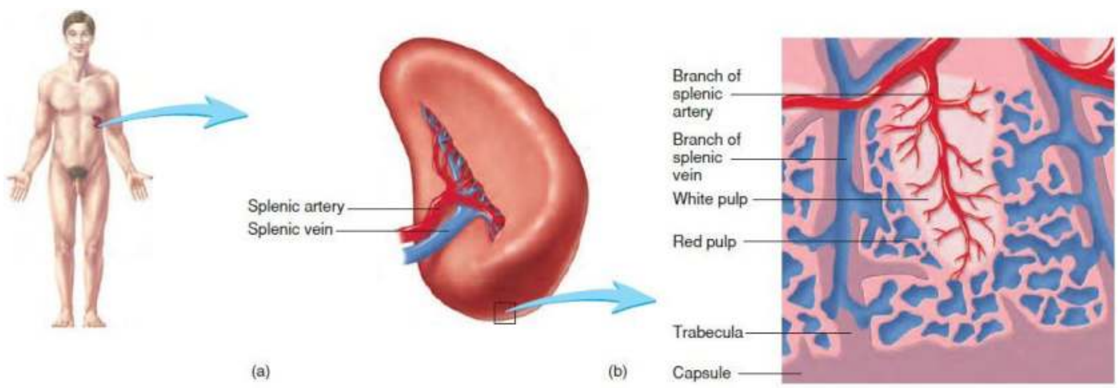
**2) ต่อมไทมัส (Thymus)** เป็นอวัยวะน้ำเหลืองที่อยู่บริเวณหลังกระดูกหน้าอก เหนือหัวใจ ทำหน้าที่สำคัญ คือ เก็บเม็ดเลือดขาวลิมโฟไซต์ที่ยังไม่โตเต็มที่ และหลังฮอร์โมนไทโมซิน (Thymosin) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์เซลล์เม็ดเลือดขาวลิมโฟไซต์ชนิด T-Cells และปรับสภาพให้เจริญเติบโตได้เต็มที่ เพื่อช่วยจัดการกับเซลล์ที่ติดเชื้อหรือเซลล์มะเร็ง

**3) ม้าม (Spleen)** ม้ามเป็นอวัยวะน้ำเหลืองที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ยาวประมาณ 5 นิ้ว อยู่บริเวณชายโครงด้านซ้าย ระหว่างกระเพาะอาหารกับกระบังลม ม้ามถูกหุ้มด้วยเนื้อยึดต่อ และคลุมทับด้วย Visceral peritoneum บริเวณขั้วของม้าม (Hilum) จะมีความหนากว่าส่วนอื่น และเป็นทางเข้าออกของหลอดเลือด และเส้นประสาท ภายในม้ามประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ

=> White pulp เป็นเนื้อเยื่อที่เห็นเป็นจุดสีขาว ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วย Lymphocyte ที่เรียงตัวกันอยู่รอบ ๆ หลอดเลือดแดง

=> Red pulp เป็นเนื้อเยื่อที่เห็นเป็นสีแดงสด ประกอบด้วย Venous sinus ซึ่งภายในมีเลือดอยู่เต็ม และเนื้อเยื่อที่แทรกอยู่ระหว่าง Venous sinus เรียกว่า Splenic cord โดยภายใน Splenic cord ประกอบด้วย เม็ดเลือดแดง Macrophage Lymphocyte และ Granulocyte

ม้ามจะไม่มีหลอดน้ำเหลืองที่นำน้ำเหลืองเข้าสู่ม้าม (Afferent lymphatic vessel) และ Lymph sinus เพราะมันไม่มีหน้าที่ในกรองน้ำเหลือง




รูปที่ 8-51 แสดงกายวิภาคของม้าม

**4) ต่อมทอนซิล (Tonsils)** อยู่บริเวณหลังลำคอ เปรียบเสมือนต่อมน้ำเหลืองต่อมหนึ่ง โดยเป็นด่านแรกของระบบภูมิคุ้มกันที่คอยดักจับเชื้อโรคที่จะเข้าสู่ทางเดินอาหารผ่านปาก และทางเดินหายใจผ่านจมูก ต่อมทอนซิลเป็นที่อยู่ของเม็ดเลือดขาวลิมโฟไซต์และแมกโครฟาจ

*************************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy* : *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

## แผนการสอน
## วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์
## (Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)

-------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบย่อยอาหาร
(Anatomy and Physiology of Digestive system)

**จำนวน** 8 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบย่อยอาหาร
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปใช้ในการปฏิบัติงานด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกชื่ออวัยวะในท่อทางเดินอาหารได้อย่างถูกต้อง
2. บอกชื่ออวัยวะเสริมการย่อยอาหารได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายจุลกายวิภาคของท่อทางเดินอาหารได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายระบบประสาทของท่อทางเดินอาหารได้อย่างถูกต้อง
5. บอกชื่อฮอร์โมนและหน้าที่ของฮอร์โมนในระบบย่อยอาหารได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของต่อมน้ำลายได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของคอหอยได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของหลอดอาหารได้อย่างถูกต้อง
9. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของกระเพาะอาหารได้อย่างถูกต้อง
10. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของลำไส้เล็กได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของลำไส้ใหญ่ได้อย่างถูกต้อง
12. อธิบายกลไกการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมของลำไส้เล็กได้อย่างถูกต้อง
13. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของตับได้อย่างถูกต้อง
14. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของถุงน้ำดีได้อย่างถูกต้อง
15. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของตับอ่อนได้อย่างถูกต้อง
16. บอกชื่อฮอร์โมนของตับอ่อนที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารได้อย่างถูกต้อง
17. อธิบายวิธีการเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหารได้อย่างถูกต้อง
18. อธิบายวิธีการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กได้อย่างถูกต้อง
19. อธิบายวิธีการเคลื่อนไหวของลำไส้ใหญ่ได้อย่างถูกต้อง
20. บอกชื่อน้ำย่อยของกระเพาะอาหารได้อย่างถูกต้อง

21. บอกชื่อน้ำย่อยและวิธีการย่อยของน้ำย่อยจากตับอ่อนได้อย่างถูกต้อง
22. บอกหน้าที่น้ำดีจากตับได้อย่างถูกต้อง
23. อธิบายวิธีการดูดซึมคาร์โบไฮเดรทได้อย่างถูกต้อง
24. อธิบายวิธีการดูดซึมไขมันได้อย่างถูกต้อง
25. อธิบายวิธีการดูดซึมโปรตีนได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจตคติในการเรียนการสอน

# 9

************************************

# ระบบย่อยอาหาร
# (Anatomy and Physiology of Digestive system)

**ตอนที่ 1 บทนำ**
- 1.1 อวัยวะในระบบย่อยอาหาร
- 1.2 ท่อทางเดินอาหาร
- 1.3 การไหลเวียนเลือดในระบบย่อยอาหาร
- 1.4 ระบบประสาทของย่อยอาหาร
- 1.5 ฮอร์โมนของย่อยอาหาร

**ตอนที่ 2 กายวิภาคศาสตร์ระบบย่อยอาหาร**
- 2.1 ช่องปาก (Mouth, Oral cavity)
- 2.2 ลิ้น (Tongue)
- 2.3 ตุ่มรับรส (Taste bud)
- 2.4 ต่อมน้ำลาย (Salivary gland)
- 2.5 ฟัน (Teeth)
- 2.6 คอหอย (pharynx)
- 2.7 หลอดอาหาร (Esophagus)
- 2.8 กระเพาะอาหาร (Stomach)
- 2.9 ลำไส้เล็ก (Small intestine)
- 2.10 ลำไส้ใหญ่ (Large intestine)
- 2.11 ตับ (Liver)
- 2.12 ถุงน้ำดี (Gallbladder)
- 2.13 ตับอ่อน (Pancreas)

**ตอนที่ 3 สรีรวิทยาระบบย่อยอาหาร**
- 3.1 การเคลื่อนไหวของระบบทางเดินอาหาร (Motility)
- 3.2 การหลั่งน้ำย่อย (Secretion)
- 3.3 การย่อยและดูดซึม (Digestion and absorption)

# บทที่ 9
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบย่อยอาหาร
# (Anatomy and Physiology of the Digestive System)

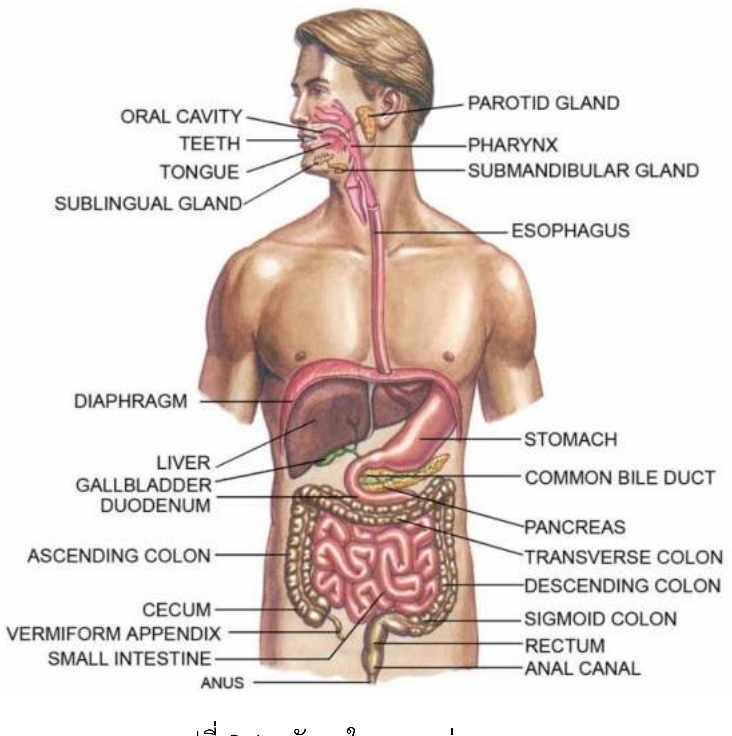
ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

## ตอนที่ 1
## บทนำกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบย่อยอาหาร

**1.1 อวัยวะในระบบย่อยอาหาร** หรือระบบย่อยอาหาร แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

**1.1.1 ท่อทางเดินอาหาร (Gastrointestinal tract, GI tract หรือ Alimentary tract)** เป็นท่อกล้ามเนื้อเริ่มจากปากไปถึงรูทวารหนัก ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ปาก (mouth) คอหอย (pharynx) หลอดอาหาร (esophagus) กระเพาะอาหาร (stomach) ลำไส้เล็ก (small intestine) และลำไส้ใหญ่ (large intestine) อาหารถูกนำเข้าสู่ร่างกายทางปาก ถูกบดเคี้ยวให้มีขนาดเล็กลงโดยฟัน แล้วกลืนผ่านหลอดอาหารลงสู่กระเพาะอาหารซึ่งมีน้ำย่อยสำหรับย่อยอาหาร อาหารที่ย่อยแล้วบางส่วนจะผ่านเข้าสู่ลำไส้เล็กที่มีการย่อยอย่างสมบูรณ์ สารอาหารที่ร่างกายต้องการจะถูกดูดซึมบริเวณลำไส้เล็ก เหลือกากอาหารผ่านไปสู่ลำไส้ใหญ่ เพื่อขับออกนอกร่างกายทางทวารหนัก อาหารสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปตามท่อทางเดินอาหารได้โดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อที่ผนังของท่อ เรียกว่า **peristalsis**

**1.1.2 อวัยวะเสริมในการย่อย (Accessory digestive organs)** อวัยวะในกลุ่มนี้ ได้แก่ ฟัน (teeth), ลิ้น (tongue), ต่อมน้ำลาย (salivary glands), ตับ (liver), ถุงน้ำดี (gallbladder) และตับอ่อน (pancreas)




รูปที่ 9-1 อวัยวะในระบบย่อยอาหาร

นอกจากนี้ส่วนต่างๆ ของทางเดินอาหารจะมีกล้ามเนื้อหูรูด (sphincter) กั้นเป็นระยะ ดังนี้

1) กล้ามเนื้อหูรูดหลอดอาหารส่วนบน (Upper esophageal sphincter, UES) อยู่ส่วนบนของหลอดอาหาร

2) กล้ามเนื้อหูรูดหลอดอาหารส่วนล่าง (Lower esophageal sphincter, LES หรือ Cardiac sphincter) อยู่บริเวณส่วนล่างของหลอดอาหาร

3) กล้ามเนื้อหูรูดไพลอรัส (Pyloric sphincter) อยู่ตอนปลายของกระเพาะอาหาร

4) กล้ามเนื้อหูรูดอิลิโอซีคัล (Ileocecal sphincter) อยู่ที่ปลายลำไส้เล็กต่อกับลำไส้ใหญ่

5) กล้ามเนื้อหูรูดทวารหนักด้านใน (Internal anal sphincter) และด้านนอก (External anal sphincter)

## 1.2 ท่อทางเดินอาหาร (Alimentary tract)

**จุลกายวิภาคของท่อทางเดินอาหาร**

ผนังของท่อทางเดินอาหาร โดยเฉพาะตั้งแต่หลอดอาหารไปจนถึงทวารหนัก มีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชั้น ได้แก่ mucosa, submucosa, muscularis และ serosa จากด้านในออกมาด้านนอก ตามลำดับ

**1. Mucosa** เป็นชั้นเยื่อเมือกที่บุภายในท่อทางเดินอาหาร ประกอบด้วยเนื้อเยื่อสำคัญ 3 ชั้น

**1.1 epithelium** เป็นชั้นเนื้อบุผิวที่สัมผัสโดยตรงกับอาหาร มีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละส่วนของท่อทางเดินอาหาร

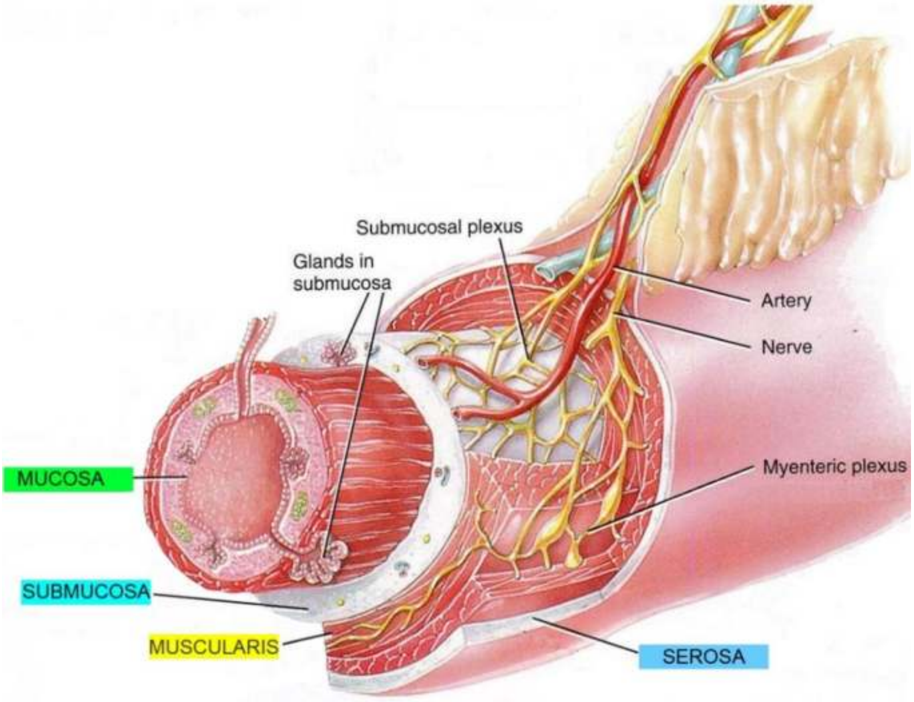
**1.2 lamina propria** เป็นชั้นของเนื้อยึดต่อที่เรียงตัวกันหลวมๆ มีหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลืองเป็นจำนวนมาก อาจพบกลุ่มของเนื้อเยื่อน้ำเหลืองกระจายอยู่ทั่วไป ชั้นนี้ทำหน้าที่ค้ำจุนเนื้อบุผิวและยึดต่อให้ติดกับชั้นกล้ามเนื้อข้างใต้ รวมทั้งเป็นทางผ่านของหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลืองสำหรับขนส่งสารอาหารที่ถูกดูดซึมไปยังส่วนอื่นของร่างกาย นอกจากนี้เนื้อเยื่อน้ำเหลืองยังช่วยป้องกันไม่ให้เชื้อโรคที่ปนมากับอาหารผ่านผนังท่อทางเดินอาหารเข้าสู่ร่างกาย

**1.3 muscularis mucosae** ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ 2 ชั้น ชั้นในสุดมีการเรียงตัวของเส้นใยเป็นวงกลม ชั้นนอกเรียงตัวตามยาว การหดตัวของกล้ามเนื้อจะทำให้อาหารคลุกเคล้ากับน้ำย่อย และช่วยผลักไล่อาหารลงสู่ส่วนล่าง ๆ ของทางเดินอาหาร

**2. Submucosa** เป็นเนื้อยึดต่อที่เรียงตัวกันหนาแน่น ช่วยยึดชั้น mucosa ไว้กับชั้นกล้ามเนื้อ ชั้นนี้มีหลอดเลือดเป็นจำนวนมาก พบปมประสาทและข่ายประสาทเรียกว่า **submucosal plexus (Meissner's plexus)** ซึ่งเป็นประสาทอัตโนมัติที่เข้ามาเลี้ยงกล้ามเนื้อเรียบในชั้น muscularis mucosae ข่ายประสาทนี้มีหน้าที่ในการควบคุมการหลั่งสารภายในท่อทางเดินอาหาร

**3. Muscularis** เป็นชั้นกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการบีบตัวของท่อทางเดินอาหาร ในส่วนของปาก คอหอย และหลอดอาหารส่วนต้น เป็นกล้ามเนื้อลายที่ทำให้เกิดการกลืนภายใต้อำนาจจิตใจ ส่วนที่เหลือของทางเดินอาหารจะเป็นกล้ามเนื้อเรียบ โดยทั่วไปพบว่ากล้ามเนื้อเรียบมีการเรียงตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อเป็น 2 ชั้น ชั้นในสุดเรียงตัวเป็นวงกลม ชั้นนอกเรียงตัวตามยาว การหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบทำให้เกิดการบีบตัวของท่อทางเดินอาหารเพื่อให้อาหารผ่านไปตามส่วนต่างๆ ของท่อ โดยการควบคุมของระบบประสาทอัตโนมัติผ่านทางปมประสาทและข่ายประสาทที่แทรกอยู่ระหว่างกล้ามเนื้อเรียบชั้นนอกกับชั้นใน เรียกว่า **Myenteric plexus** ซึ่งส่วนใหญ่เป็นระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

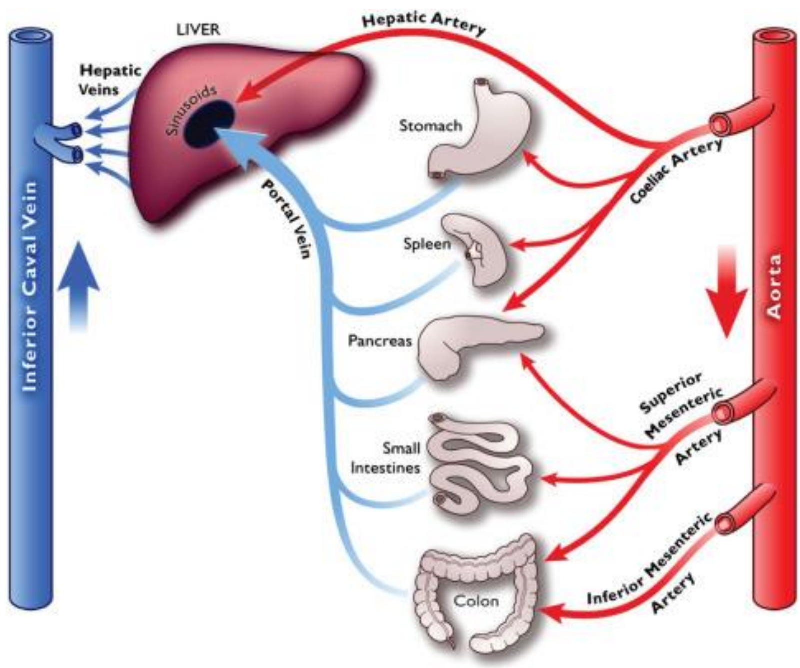
**4. Serosa** เป็นชั้นที่เกิดจากเยื่อบุช่องท้อง มาหุ้มล้อมรอบท่อทางเดินอาหารในส่วนที่อยู่ใต้กระบังลม สำหรับ ท่อทางเดินอาหารบางส่วนที่ไม่มีเยื่อบุช่องท้องมาหุ้ม เรียกผนังชั้นนี้ว่า **adventitia**




รูปที่ 9-3 ภาพแสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคโดยทั่วไปของท่อทางเดินอาหาร

## 1.3 การไหลเวียนเลือดในระบบย่อยอาหาร

การไหลเวียนเลือดในระบบย่อยอาหาร เรียกว่า **splanchnic circulation** เลือดที่ออกจากหัวใจประมาณ 20-25% จะเข้าสู่อวัยวะในช่องท้อง ซึ่งปกติมีอัตราการไหลเวียนประมาณ 1,250-1,500 มล.ต่อนาที




รูปที่ 9-3 แสดงการไหลเวียนเลือดในระบบย่อยอาหาร
(ที่มา : https://www.bjaed.org/article/S2058-5349(17)30113-0/fulltext)

อัตราการไหลเวียนขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังรับประทานอาหาร เนื่องจากมีการย่อยและการดูดซึม รวมทั้งการนำสารอาหารที่ถูกดูดซึมแล้วไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย หลังจากที่เลือดผ่านกระเพาะอาหาร ลำไส้ และตับอ่อน จะกลับเข้าสู่ตับทางหลอดเลือดดำ portal vein และเมื่อออกจากตับทางหลอดเลือดดำ hepatic vein จะเข้าสู่ inferior vena cava

## 1.4 ระบบประสาทของทางเดินอาหาร

กล้ามเนื้อของทางเดินอาหาร สามารถหดตัวคลายตัวได้เอง โดยไม่ต้องมีเส้นประสาทมาสั่งการ ระบบประสาทที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของทางเดินอาหาร ดังนี้

### 1.4.1 ระบบประสาทภายนอก

=> **ระบบประสาท Sympathetic** การกระตุ้นประสาท sympathetic จะมีผลยับยั้งการเคลื่อนไหว การหลั่ง และจะมีผลกระตุ้นทำให้กล้ามเนื้อหูรูดหดตัว

=> **ระบบประสาท Parasympathetic** เส้นประสาท parasympathetic ไปยังทางเดินอาหารลงไปจนถึงลำไส้ใหญ่ส่วนขวางเป็นแขนงของประสาทเวกัส (vagus nerve) ส่วนที่เหลือของลำไส้ใหญ่ ไส้ตรง และทวารหนัก เป็นแขนงของเส้นประสาทเพลวิก (pelvic nerve) การกระตุ้นเส้นประสาท parasympathetic จะเพิ่มการเคลื่อนไหวและการหลั่งของทางเดินอาหาร

### 1.4.2 ระบบประสาทภายในทางเดินอาหาร (Enteric nervous system, ENS)

กระเพาะอาหารและลำไส้ มีการบีบตัวและคลายตัวเป็นระยะแม้ถูกตัดขาดออกมาจากร่างกาย เนื่องจากมีความเป็นอัตโนมัติของกล้ามเนื้อเรียบและระบบประสาทในผนังทางเดินอาหารเอง เราเรียกระบบประสาท เซลล์ประสาทและเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับประสาทซึ่งอยู่ในผนังทางเดินอาหารเหล่านี้ว่า enteric nervous system (ENS) ประกอบด้วย

=> **Myenteric plexus (Auerbach's plexus)** อยู่ระหว่างชั้นกล้ามเนื้อที่เรียงตัวตามยาวและตามขวางของผนังลำไส้ ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของลำไส้

=> **Submucosal plexus (Meissner's plexus)** อยู่ในเนื้อเยื่อชั้น submucosa ทำหน้าที่ควบคุมการหลั่งน้ำย่อยและสารน้ำในลำไส้

## 1.5 ฮอร์โมนของทางเดินอาหาร (GI hormone)

Bayliss และ Starling เป็นผู้ค้นพบฮอร์โมนจากทางเดินอาหาร ชนิดแรกในปี ค.ศ.1901 และตั้งชื่อว่า secretin โดยทำการทดลองในสัตว์ซึ่งเจจูนัมส่วนหนึ่งถูกเลาะเส้นประสาทออก เมื่อใส่กรดเกลือลงในเจจูนัมส่วนนั้นแล้ว มีผลให้ตับอ่อนหลั่งน้ำย่อยได้

ฮอร์โมนจากทางเดินอาหารทุกตัวเป็นโพลีเปปไทด์สายเดี่ยว เซลล์ต้นตอที่ผลิตเปปไทด์เหล่านี้เรียกรวมว่า APUD cell (amine precursor uptake and decarboxylation cell) ซึ่งสร้างเปปไทด์หลายชนิดมีหน้าที่ปรับการเคลื่อนไหว การหลั่ง การดูดซึม และมีผลต่อการเจริญของเนื้อเยื่อบางส่วนในทางเดินอาหารด้วย ฮอร์โมนในทางเดินอาหาร แบ่งตามโครงสร้างที่คล้ายกันได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มแกสตริน (Gastrin family) ได้แก่ gastrin, cholecystokinin (CCK)
2. กลุ่มซีครีติน (Secretin family) ได้แก่ secretin, gastric inhibitory peptide (GIP), vasoactive intestinal peptide (VIP) และ glucagon
3. เปปไทด์อื่นๆ ที่มีโครงสร้างคล้ายกัน

### 1. กลุ่มแกสตริน (Gastrin family)

**1.1 แกสตริน (Gastrin)** แกสตรินเป็นเปปไทด์ที่สร้างจาก G cells ในบริเวณกระเพาะอาหารส่วนแอนทรัมและลำไส้เล็กส่วนต้น มีหน้าที่ ดังนี้

1) กระตุ้น parietal cells ที่เยื่อบุกระเพาะอาหารให้หลั่งกรด
2) กระตุ้น enterochromaffin cells ให้หลั่งฮิสตามิน
3) กระตุ้น chief cells ที่เยื่อบุกระเพาะอาหารให้หลั่งเปปซิน
4) กระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์เยื่อบุกระเพาะอาหาร
5) เพิ่มปริมาณเลือดที่มาเลี้ยงกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก
6) เพิ่มการบีบตัวของหูรูดหลอดอาหารส่วนล่าง กระเพาะอาหาร ถุงน้ำดี
7) ทำให้ pylorus และ sphincter of Oddi คลายตัว

**การควบคุมการหลั่งแกสตริน**

การกระตุ้นการหลั่งแกสตริน ได้แก่ เปปไทด์และกรดอมิโนในกระเพาะอาหาร โดยเฉพาะ phenylalanine และ tryptophan เป็นตัวกระตุ้นที่สำคัญที่สุด การยืดของกระเพาะอาหาร และสิ่งกระตุ้นอื่นๆ เช่น กาแฟ เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เป็นต้น ตัวยับยั้งการหลั่งแกสตริน ได้แก่ ความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร (pH<3)

**1.2 โคลีซีสโตไคนิน (Cholecystokinin, CCK หรือ Pancreozymin)** เป็นเปปไทด์ที่สร้างจาก I cells ในเยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้น ส่วนบนของลำไส้เล็กส่วนกลาง และจากเซลล์ประสาทใน myenteric และ submucosal plexus ของลำไส้ใหญ่ I cells หลั่ง CCK เมื่อมีอาหารที่ถูกย่อยแล้วบางส่วนมาถึงลำไส้เล็กส่วนต้น โดยเฉพาะกรดไขมัน CCK มีหน้าที่ ดังนี้

1) กระตุ้นการบีบตัวของถุงน้ำดี พร้อมกับมีการคลายตัวของ sphincter of Oddi
2) กระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน
3) กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนจากตับอ่อน เช่น pancreatic polypeptide, glucagon, insulin
4) ลดการหลั่งกรดและและการบีบตัวของกระเพาะอาหาร แต่เพิ่มการบีบตัวของลำไส้
5) ทำให้รู้สึกอิ่ม

### 2. กลุ่มซีครีติน (Secretin family)

**2.1 ซีครีติน (Secretin)** เป็นเปปไทด์ที่สร้างจาก S cells ที่เยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้น ถูกหลั่งเมื่อ pH ในดูโอดินั่มลดต่ำกว่า 4.5 ไขมันและเกลือน้ำดีในดูโอดินั่มมีผลการกระตุ้นการหลั่งได้บ้าง ซีครีตินมีหน้าที่ ดังนี้

1) กระตุ้นให้มีการหลั่งไบคาร์บอเนตจากตับอ่อน ตับ และ Brunner's gland ในดูโอดินั่ม
2) เสริมฤทธิ์ของประสาทเวกัส และ CCK ที่มากระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน
3) ยับยั้งแกสตรินและการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร

**2.2 แกสตริกอินฮิบิทอรีเปปไทด์ (Gastric inhibitory peptide, GIP)** เป็นเปปไทด์สร้างจาก K cells ในเยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง มีตัวกระตุ้น คือ อาหารที่ผ่านมาในลำไส้เล็ก มีหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1) ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร
2) กระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งอินสุลิน โดยกลูโคสในลำไส้เล็กเพิ่มการหลั่ง GIP

**2.3 Vasoactive intestinal peptide (VIP)** เป็นเปปไทด์ที่มีบทบาทเป็นสารสื่อประสาทในระบบประสาททางเดินอาหาร โดยออกฤทธิ์กระตุ้นลำไส้เล็กให้หลั่งอิเลคโตรลัยท์และน้ำ พร้อมกับมีฤทธิ์ขยายหลอดเลือด ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร

**2.4 Glucagon** กลูคากอน สร้างจาก A-cell ที่ตับอ่อน มีหน้าที่เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด จะหลั่งเมื่อมีอาหารจำพวกแป้งหรือไขมันมาถึงลำไส้เล็ก มีฤทธิ์ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร

### 3. เปปไทด์อื่นๆ

**3.1 Somatostatin (SS)** สร้างจาก D cell ในตับอ่อนและที่เยื่อบุกระเพาะอาหารลำไส้ D cell หลั่งเมื่อมีไขมัน โปรตีน หรือกรดในกระเพาะอาหาร ออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของทางเดินอาหาร ดังนี้

1) ยับยั้งการหลั่งกรดจาก parietal cell และยับยั้งการหลั่งแกสตรินจาก G cell
2) ยับยั้งการหลั่งน้ำดี น้ำย่อยจากตับอ่อน
3) ยับยั้งการหลั่งเปปไทด์จากตับอ่อนและทางเดินอาหาร เช่น insulin, glucagon, secretin, motilin, gastrin

**3.2 Motilin** สร้างจาก M cell ในลำไส้เล็กส่วนต้น มีหน้าที่กระตุ้นการเคลื่อนไหวของทางเดินอาหาร โดยเฉพาะในช่วงท้องว่างซึ่งจะมีการบีบตัวไล่จากต้นทางไปปลายทางเป็นชุดๆ ที่เรียกว่า migratory myoelectric complex

**3.3 Bombesin (Gastrin-releasing peptide, GRP)** เป็นสารสื่อประสาทใน enteric nervous system พบสารนี้ที่ปลายประสาทเวกัสซึ่งไปสิ้นสุดที่ G cell มีฤทธิ์กระตุ้นการหลั่งแกสตริน

**ตอนที่ 2**

**กายวิภาคศาสตร์ระบบทางเดินอาหาร**

## 2.1 ช่องปาก (Mouth, Oral cavity)

ช่องปากเป็นส่วนต้นของท่อทางเดินอาหาร มีขอบเขต ดังนี้

**ด้านหน้าและด้านข้าง** เป็นส่วนของแก้มซึ่งเป็นแผ่นกล้ามเนื้อของหน้า คลุมด้านนอกด้วยผิวหนัง ด้านหน้าของแก้มจะสิ้นสุดโดยกลายเป็นริมฝีปากบนและล่าง

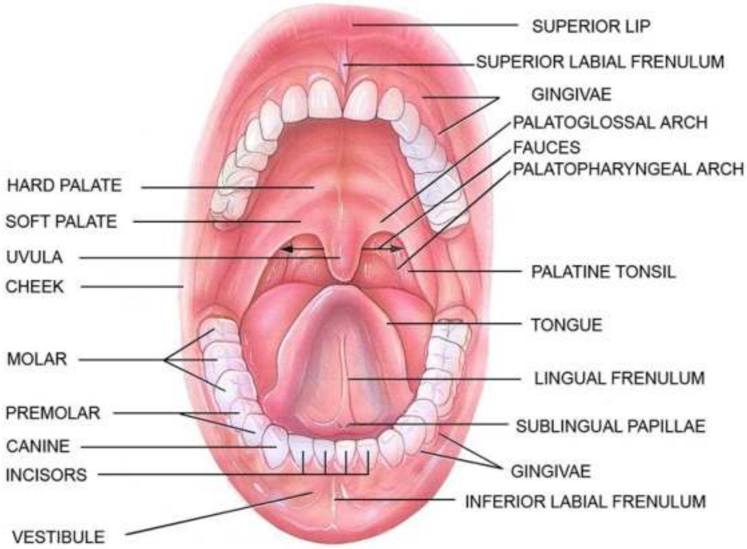
**ด้านบน** เป็นเพดานแข็ง (hard palate) ทางด้านหน้า และเพดานอ่อน (soft palate) ทางด้านหลัง

- เพดานแข็ง เป็นส่วนของกระดูก maxilla และกระดูก palatine คลุมทับด้วยเยื่อเมือก

- เพดานอ่อน เป็นแผ่นกล้ามเนื้อยื่นเข้าไปในคอหอย (pharynx) ปลายสุดด้านหลังมีติ่งยื่นลงมาตรงกลาง เรียกว่า ลิ้นไก่ (uvula) ตรงฐานของลิ้นไก่จะมีสันนูนของกล้ามเนื้อ ลงมาทางด้านข้างของเพดานอ่อน สันนูนที่อยู่ทางด้านหน้าจะวิ่งไปทางด้านข้างของโคนลิ้นเรียกว่า palatoglossal arch (anterior pillar) สันนูนทางด้านหลังจะวิ่งไปทางด้านข้างของคอหอย เรียกว่า palatopharyngeal arch (posterior pillar) แอ่งที่อยู่ระหว่างสันนูนทั้งสองเป็นที่อยู่ของต่อมทอนซิล ที่เรียกว่า palatine tonsil

**ด้านล่าง** เป็นลิ้น (tongue)

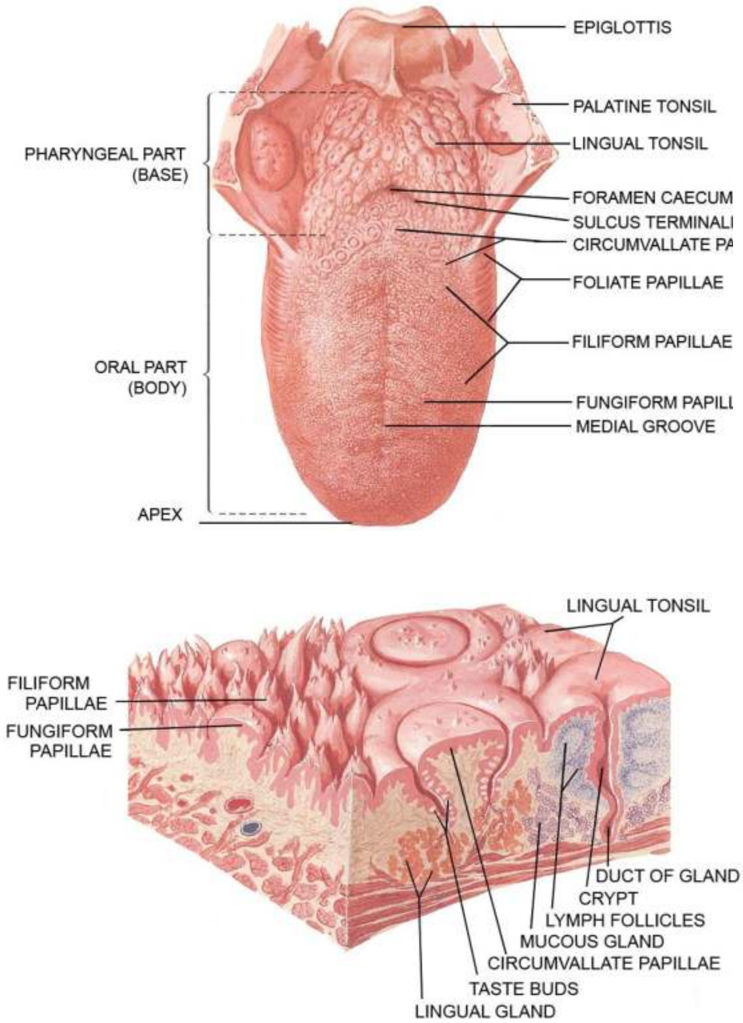
**ด้านหลัง** เป็นทางเปิดติดต่อกับคอหอย เรียกว่า fauces




รูปที่ 9-7 ภาพแสดงอวัยวะต่างๆ ในช่องปาก

## 2.2 ลิ้น (Tongue)

ลิ้นและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องประกอบกันเป็นพื้นของช่องปาก ลิ้นเป็นอวัยวะเสริมในระบบการย่อยอาหาร มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อลายคลุมด้วยเยื่อเมือก ลิ้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ **oral part** หรือตัวลิ้น เป็นส่วนที่อยู่ในช่องปากกับ **pharyngeal part** หรือฐานลิ้นอยู่ในคอหอย โดยทั้งสองส่วนถูกแยกออกจากกันโดยร่องรูปอักษร V เรียกว่า sulcus terminalis ตรงมุมของร่องนี้มีหลุมลึก เรียกว่า foramen caecum




รูปที่ 9-8 ภาพแสดงกายวิภาคของลิ้น (A) และตุ่มนูนเล็กๆ บนลิ้น (B)

ผิวด้านบนและด้านข้างของตัวลิ้นจะมีตุ่มนูนเล็กๆ เรียกว่า papillae มีรูปร่าง 4 แบบ ดังนี้

**1) Filiform papillae** เป็นปุ่มแหลมเล็กรูปโคนกระจายเป็นแถวขนานกันทั่วไปบนลิ้น ทำให้ลิ้นมีลักษณะสาก ตุ่มนูนชนิดนี้สีซีดและไม่มีตุ่มรับรส (taste bud)

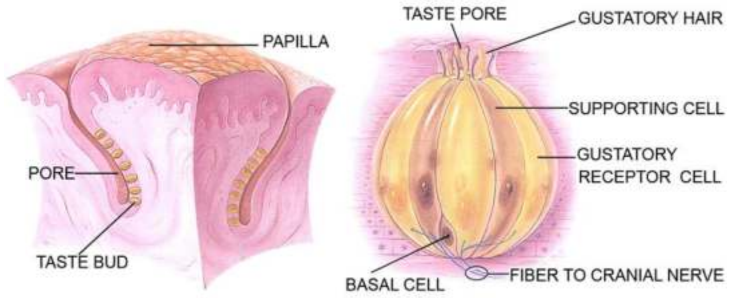
**2) Fugiform papillae** มีรูปร่างเหมือนเห็ด กระจายแทรกอยู่ระหว่าง filiform papillae พบมากที่บริเวณปลายลิ้น เห็นเป็นตุ่มสีแดงกลมๆ เนื่องจากมีหลอดเลือดแดงเข้ามาเลี้ยงมาก ตุ่มนูนชนิดนี้มีตุ่มรับรส

**3) Circumvallate papillae** มีประมาณ 10-12 อัน เรียงตัวเป็นแถวอยู่ตามแนวด้านหน้าของร่อง sulcus terminalis เป็นตุ่มขนาดใหญ่มีร่องเล็กๆ ล้อมรอบ มีตุ่มรับรสจำนวนมาก

**4) Foliate papillae** เป็นสันนูนเล็กๆ ทางด้านข้างของลิ้น ส่วนใหญ่พบในสัตว์

## 2.3 ตุ่มรับรส (Taste bud)

ตุ่มรับรสบนลิ้นทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับรสของอาหาร โดยของเหลวจากอาหารจะซึมผ่านเข้าไปสัมผัสกับ**เซลล์รับรส (gustatory cells)** ทำให้เกิดกระแสประสาทไปสู่สมองโดยผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 ยกเว้นบริเวณฐานลิ้นและบริเวณฝาปิดกล่องเสียงจะผ่านทางเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 และคู่ที่ 10 ตามลำดับ ผิวด้านบนของฐานลิ้นมีลักษณะขรุขระ เป็นที่อยู่ของกลุ่มเนื้อเยื่อน้ำเหลือง เรียกว่า **lingual tonsil**




รูปที่ 9-9 ภาพแสดงตุ่มรับรส

## 2.4 ต่อมน้ำลาย (Salivary gland)

น้ำลายเป็นของเหลวที่ถูกขับออกมาจากต่อมน้ำลาย เพื่อหล่อลื่นและให้ความชุ่มชื้นกับเยื่อเมือกภายในช่องปากและคอหอย เมื่อรับประทานอาหารจะมีการหลั่งน้ำลายเพิ่มขึ้นเพื่อหล่อลื่นและละลายอาหาร น้ำย่อย salivary amylase ในน้ำลายจะย่อยอาหารจำพวกแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ต่อมน้ำลายแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

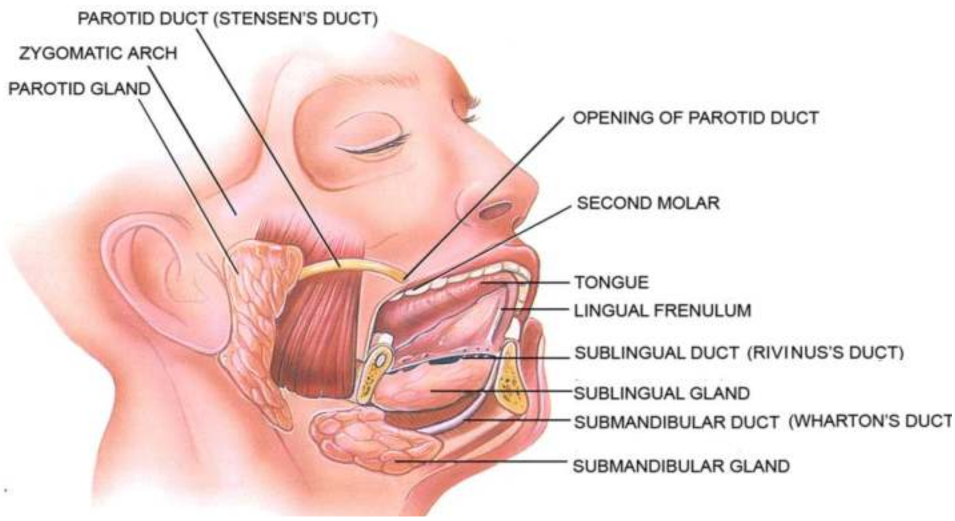
**2.4.1 Minor salivary gland** เป็นต่อมน้ำลายเล็กๆ ที่พบทั่วไปในเยื่อเมือกที่บุภายในช่องปากโดยเฉพาะบริเวณด้านในของริมฝีปาก แก้ม และใต้ลิ้น

**2.4.2 Major salivary gland** เป็นต่อมน้ำลายขนาดใหญ่ที่อยู่นอกช่องปากและสร้างน้ำลายส่งผ่านทางท่อเข้ามาสู่ช่องปาก มี 3 คู่ คือ

**=> Parotid glands** อยู่ด้านหน้าของรูหูโดยอยู่ต่ำกว่ารูหูเล็กน้อย สร้างน้ำลายที่มีลักษณะใสส่งผ่านท่อ Stensen's ducts ไปเปิดเข้าสู่ช่องปาก รูเปิดอยู่ที่ผนังด้านในของแก้มตรงข้ามกับฟันกรามบนซี่ที่ 2

**=> Submandibular glands** วางอยู่ใต้มุมของกระดูกขากรรไกรล่างทางด้านใน สร้างน้ำลาย ที่มีลักษณะเหนียวข้น ส่งผ่านท่อ submandibular ducts (Wharton's ducts) ไปเปิดที่พื้นช่องปาก

**=> Sublingual glands** อยู่ใต้ลิ้นโดยวางตัวอยู่ใต้เยื่อบุพื้นช่องปาก ลักษณะทางจุลกายวิภาคคล้ายกับ submandibular glands มีท่อน้ำลายเล็กๆ มากมาย เรียกว่า lesser sublingual duct หรือ Rivinus's duct ทะลุจากต่อมผ่านเยื่อเมือกไปเปิดที่พื้นช่องปากโดยตรง

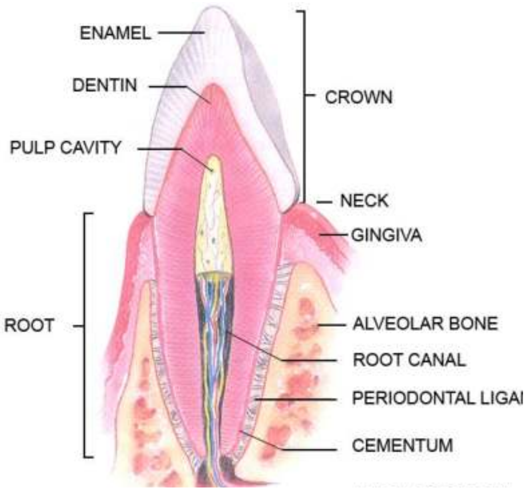



รูปที่ 9-10 แสดงตำแหน่งของต่อมน้ำลายขนาดใหญ่

## 2.5 ฟัน (Teeth)

ฟันแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

1. ตัวฟัน (crown) เป็นส่วนของฟันที่โผล่พ้นเหงือก
2. รากฟัน (root) เป็นส่วนของฟันที่ฝังอยู่ในกระเปาะบน alveolar processes ของกระดูกขากรรไกรบนและล่าง และถูกหุ้มภายนอกด้วยเหงือก
3. คอฟัน (neck) เป็นส่วนคอดที่อยู่ระหว่างตัวฟันกับรากฟัน




รูปที่ 9-11 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของฟัน

ฟันประกอบด้วยเนื้อฟัน (dentine) ซึ่งเป็นเนื้อยึดต่อที่มีแคลเซียมมาตกตะกอน ทำให้ฟันคงรูปร่างและ มีความแข็งแรง เนื้อฟันห่อหุ้มช่องว่างตรงกลางฟัน เรียกว่า pulp cavity ที่บรรจุหลอดเลือด หลอดน้ำเหลืองและเส้นประสาทรับความรู้สึกของฟันที่เข้ามาเลี้ยงฟันทางรูที่ปลายรากฟัน เรียกว่า apical foramen

เนื้อฟันตรงส่วนตัวฟันจะถูกเคลือบด้วย enamel ซึ่งมีองค์ประกอบของ calcium phosphate และ calcium carbonate จึงเป็นโครงสร้างที่แข็งที่สุดในร่างกาย ป้องกันการสึกกร่อนของฟันจากการเคี้ยวและป้องกันไม่ให้เนื้อฟันถูกทำลายโดยกรดภายในปาก ที่รากฟันเนื้อฟันจะถูกเคลือบด้วย cementum ซึ่งมีโครงสร้างเหมือนกระดูกทำหน้าที่ยึดรากฟันไว้กลับเนื้อยึดต่อที่อยู่รอบฟัน

เรียกชื่อฟันตามลักษณะรูปร่างและหน้าที่เป็น 4 ชนิดเรียงจากด้านหน้าไปด้านหลัง ได้แก่

**1. ฟันตัด (incisor)** ลักษณะตัวฟันแบนเป็นรูปลิ่ม มีรากฟันอันเดียว ใช้สำหรับตัดอาหาร

**2. ฟันเขี้ยว (canine or cuspid)** ตัวฟันมียอดแหลม เรียกว่า cusp 1 อัน รูปร่างคล้ายใบหอกมีรากฟันอันเดียว ใช้สำหรับฉีกอาหาร

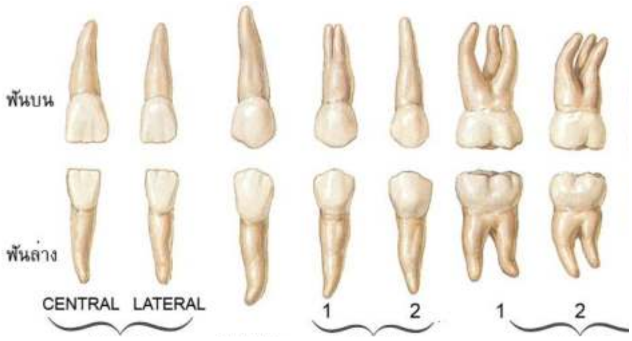
**3. ฟันกรามน้อย (premolar or bicuspid)** ตัวฟันมี cusp 2 อัน และมีรากฟันอันเดียว (ฟันกรามน้อยบนซี่แรกอาจมี 2 ราก) ใช้สำหรับบดเคี้ยวอาหาร

**4. ฟันกราม (molar)** มี cusp 3-5 อัน ฟันกรามบนมี 3 ราก ฟันกรามล่างมี 2 ราก ใช้สำหรับบดเคี้ยวอาหาร

มนุษย์มีฟัน 2 ชุด คือ ฟันน้ำนมและฟันแท้

**1. ฟันน้ำนม (deciduous or milk teeth)** มีจำนวน 20 ซี่ ฟันน้ำนมขึ้นซี่แรก เมื่ออายุ 6 เดือน และครบเมื่ออายุ 2 ปีครึ่ง

**2. ฟันแท้ (permanent teeth)** มีจำนวน 32 ซี่ ประกอบด้วยฟันตัด (incisor) 8 ซี่ ฟันเขี้ยว (canine) 4 ซี่ ฟันกรามน้อย (premolar) 8 ซี่ และฟันกรามใหญ่ (molar) 12 ซี่

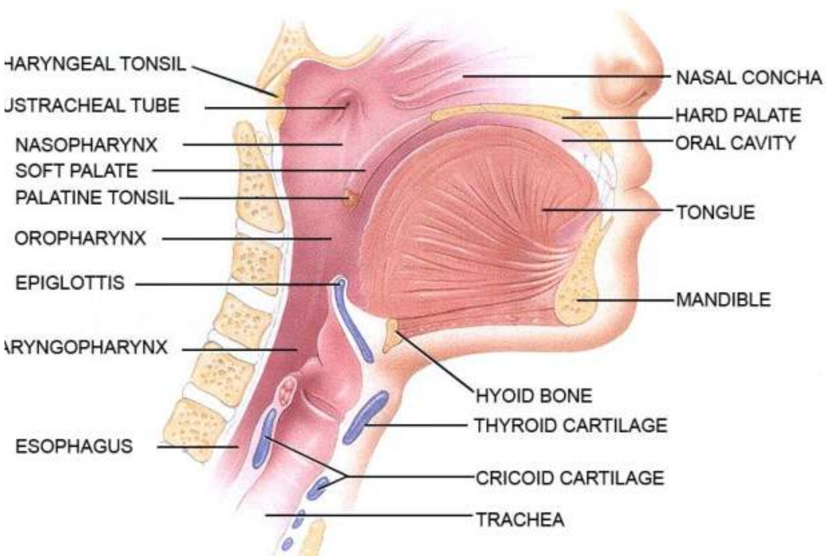



รูปที่ 9-12 แสดงลักษณะของฟันน้ำนมและฟันแท้

## 2.6 คอหอย (pharynx)

คอหอยเป็นท่อรูปกรวย เริ่มจากทางด้านหลังของโพรงจมูกใต้ฐานกะโหลกศีรษะต่อลงไปด้านหลังของช่องปากและกล่องเสียง จนถึงระดับกระดูกอ่อน cricoid โดยวางตัวอยู่หน้าต่อกระดูกสันหลังส่วนคอ ผนังของคอหอยประกอบด้วยกล้ามเนื้อลายบุภายในด้วยเยื่อเมือก ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศและอาหาร คอหอยเป็น 3 ส่วน คือ nasopharynx, oropharynx, laryngopharynx

**2.6.1 Nasopharynx** เป็นส่วนบนสุดของคอหอย วางตัวอยู่ทางด้านหลังของโพรงจมูกลงมาจนถึงระดับของเพดานอ่อน ผนังด้านหลังมีเนื้อเยื่อน้ำเหลืองอยู่ใต้ชั้นเยื่อเมือกเรียกว่า pharyngeal tonsil (adenoid) ผนังด้านข้างมีรูเปิดของ **Auditory (Eustachian) tube** ซึ่งเป็นท่อที่เชื่อมระหว่างหูชั้นกลางกับหอคอย ใช้สำหรับปรับความดันภายในหูชั้นกลางให้เท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก




รูปที่ 9-13 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของคอหอย

**2.6.2 Oropharynx** อยู่ทางด้านหลังของช่องปากเริ่มตั้งแต่เพดานอ่อนทางด้านบนลงไปจนถึงของระดับกระดูก hyoid ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศและอาหาร ในคอหอยส่วนนี้มีเนื้อเยื่อน้ำเหลือง palatine tonsils และ lingual tonsils

**2.6.3 Laryngopharynx** เป็นส่วนล่างสุดอยู่ทางด้านหลังของกล่องเสียงเริ่มตั้งแต่ระดับกระดูก hyoid ลงไปจนถึงระดับกระดูกอ่อน cricoid เปิดเข้าสู่กล่องเสียงทางด้านหน้าและเปิดเข้าสู่หลอดอาหารทางด้านหลัง เป็นทางผ่านของทั้งอากาศและอาหาร

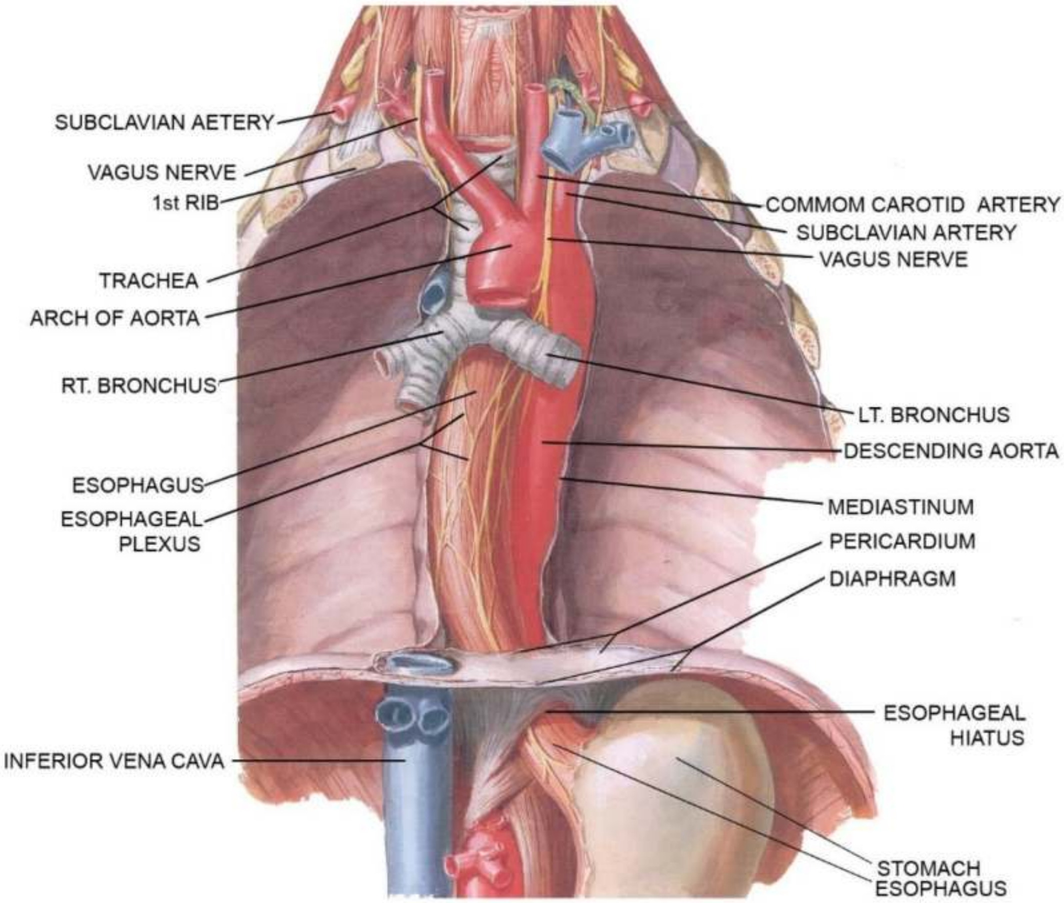
## 2.7 หลอดอาหาร (Esophagus)

หลอดอาหารเป็นท่อกล้ามเนื้อยาวประมาณ 10 นิ้ว วางตัวอยู่หลังหลอดลม เริ่มตั้งแต่ส่วนปลายของ laryngopharynx ผ่านลงมาในเนื้อกลางอก (mediastinum) โดยอยู่หน้าต่อกระดูกสันหลัง ลอดผ่านกะบังลมทางรูเปิดที่เรียกว่า esophageal hiatus เข้าสู่กระเพาะอาหาร

**จุลกายวิภาคของหลอดอาหาร**

หลอดอาหาร ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น เรียงจากด้านในออกมาด้านนอก ดังนี้

**1. Mucosa** ประกอบด้วย nonkeratinized stratified squamous epithelium, lamina propria และ muscularis mucosae ในส่วนที่อยู่ใกล้กับกระเพาะอาหารจะพบต่อมมูก

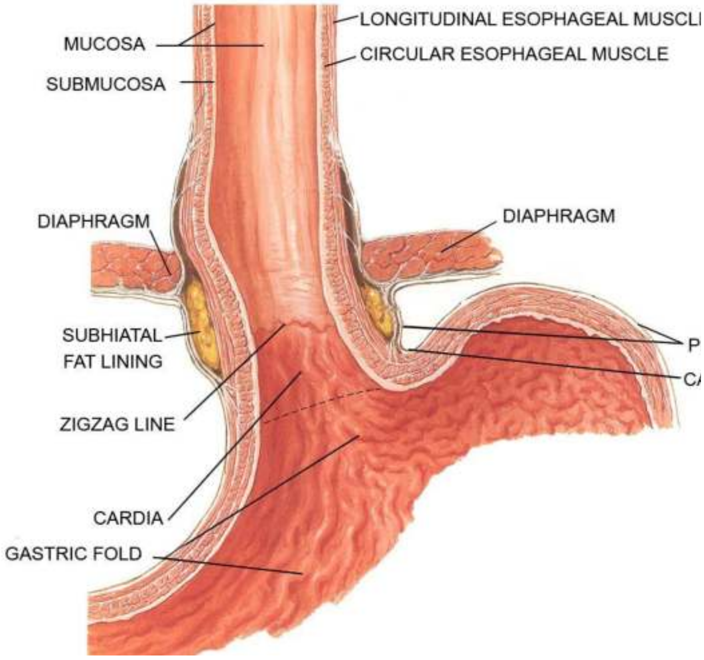



รูปที่ 9-14 แสดงกายวิภาคของหลอดอาหาร

**2. Submucosa** เป็นชั้นของเนื้อยึดต่อที่บรรจุหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลือง พบต่อมมูกประปราย

**3. Muscularis** ชั้นกล้ามเนื้อของหลอดอาหารมีลักษณะพิเศษ คือ ส่วนบน 1/3 เป็นกล้ามเนื้อลายทั้งหมด ส่วนกลาง 1/3 มีทั้งกล้ามเนื้อเรียบและลายปนกัน และส่วนล่าง 1/3 เป็นกล้ามเนื้อเรียบทั้งหมด

**4. Adventitia** ผนังชั้นนอกสุดของหลอดอาหารเป็นเนื้อยึดต่อที่เรียงตัวกันหลวมๆ โดยไม่มีเนื้อบุผิว (mesothelium) คลุมทับ และต่อเนื่องไปประสานกับเนื้อยึดต่อที่หุ้มอวัยวะใกล้เคียง




รูปที่ 9-15 แสดงกายวิภาคของรอยต่อของหลอดอาหารกับกระเพาะอาหาร

## 2.8 กระเพาะอาหาร (Stomach)

กระเพาะอาหารเป็นส่วนของท่อทางเดินอาหารที่โป่งพองเป็นรูปอักษรตัวเจ วางตัวอยู่บริเวณลิ้นปี่ ค่อนมาทางบริเวณใต้ชายโครงด้านซ้ายของช่องท้องส่วนบนสุดของกระเพาะอาหารต่อเนื่องลงมาจากหลอดอาหาร ส่วนล่างเปิดเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วน duodenum ทางด้านหน้าของกระเพาะอาหารเป็นผนังหน้าท้อง ทางด้านหลังสัมพันธ์กับไตซ้าย ต่อมหมวกไต ตับอ่อนและม้ามโดยมีกระบังลมคลุมอยู่ด้านบน

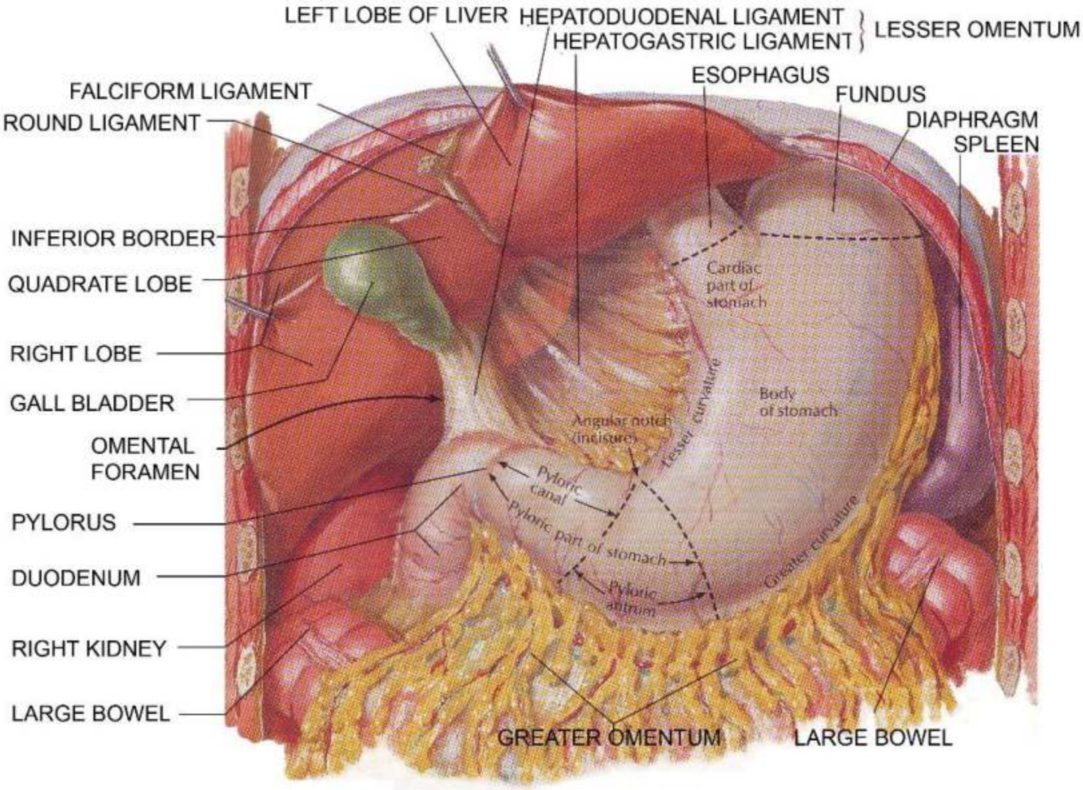
ในทางกายวิภาค แบ่งกระเพาะอาหารออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

**1. Cardia** เป็นส่วนที่อยู่รอบรูเปิดของหลอดอาหาร

**2. Fundus** เป็นส่วนกระพุ้งกลมที่อยู่ทางซ้ายเหนือต่อส่วน cardia

**3. Body** เป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดอยู่ตรงส่วนกลางของกระเพาะอาหาร

**4. Pylorus** เป็นส่วนที่แคบที่สุดอยู่บริเวณปลายล่างของกระเพาะอาหาร ติดต่อกับลำไส้เล็กส่วนต้น กระเพาะอาหารส่วนนี้ยังแบ่งเป็นส่วนย่อยอีก 2 ส่วน ได้แก่ **pyloric antrum** เป็นส่วนที่ขยายกว้างออกเล็กน้อยกับ **pyloric canal** ซึ่งเป็นรูแคบมีกล้ามเนื้อหูรูดหุ้มล้อมรอบเรียกว่า **pyloric sphincter**

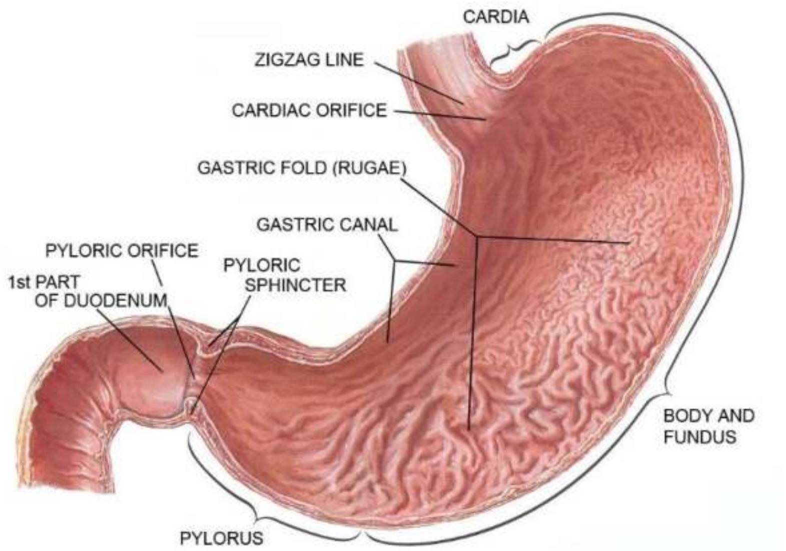



รูปที่ 9-16 แสดงกายวิภาคของกระเพาะอาหาร

ลักษณะภายนอกของกระเพาะอาหารจะมีขอบโค้ง (curvature) 2 ข้าง คือ

**1. Lesser curvature** อยู่ทางด้านขวาของกระเพาะอาหารขอบด้านนี้มีแผ่นของเยื่อบุช่องท้องเรียกว่า lesser omentum แผ่ยึดระหว่างกระเพาะอาหารกับขั้วของตับ บนส่วนโค้งมีร่องที่เกิดจากการหักมุมของกระเพาะอาหารจากแนวดิ่งไปทางขวา เรียกว่า angular incisures (angular notch)

**2. Greater curvature** อยู่ทางด้านซ้าย มีแผ่นเยื่อบุช่องท้องแผ่ลงไปคลุมขดของลำไส้เล็กทางด้านล่างแล้วพับทบกลับขึ้นมายึดกับลำไส้ใหญ่ส่วนขวาง เรียกว่า greater omentum




รูปที่ 9-17 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของผนังภายในกระเพาะอาหาร

**จุลกายวิภาคของกระเพาะอาหาร**

ผนังของกระเพาะอาหาร มี 4 ชั้น ได้แก่ Mucosa, Submucosa, Muscularis, Serosa

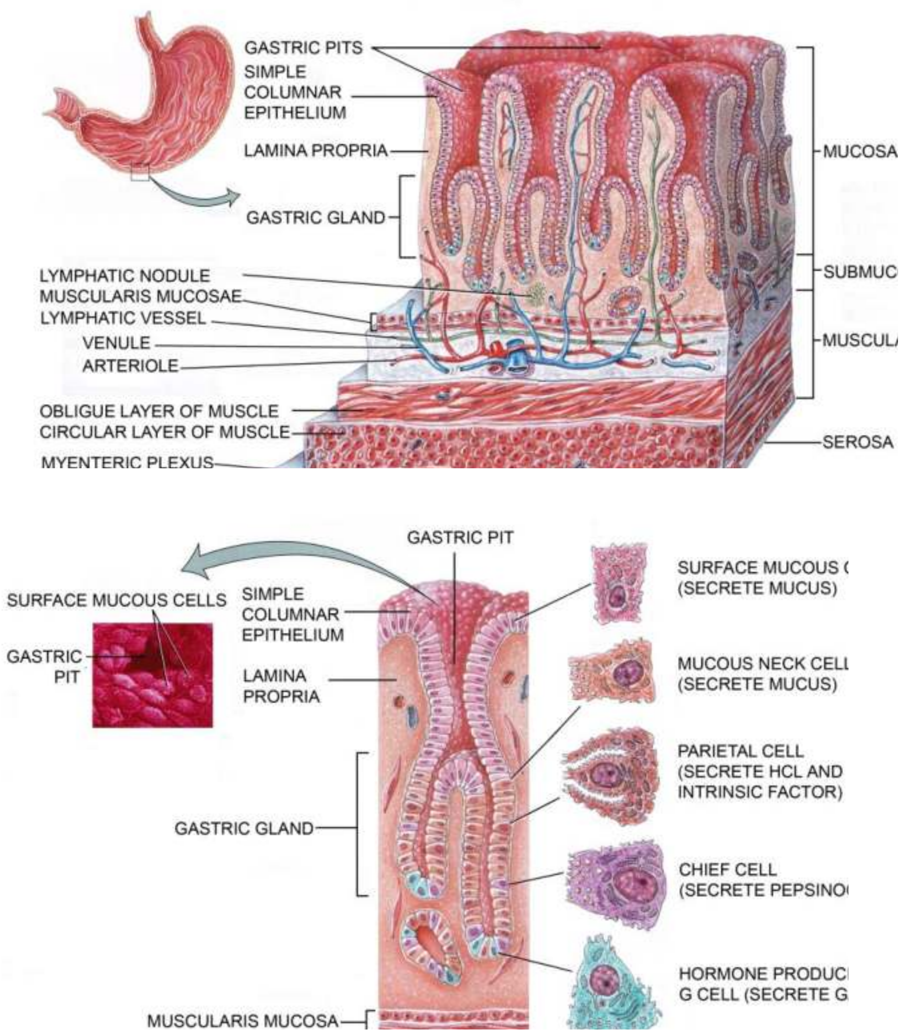
**1. Mucosa** ชั้นเยื่อเมือกบุด้วย simple columnar epithelium มีท่อของต่อมกระเพาะอาหารมาเปิดออกมากมาย เรียกรูเปิดนี้ว่า gastric pits ต่อมกระเพาะอาหาร (gastric glands) ประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด คือ

**1.1 chief (zymogenic or pepsin) cell** พบมากที่ส่วนฐานของต่อม เซลล์มีหน้าที่สร้าง pepsinogen เมื่อสารนี้ถูกกับกรดในกระเพาะอาหารจะเปลี่ยนเป็น pepsin ซึ่งเป็นน้ำย่อยสำหรับย่อยโปรตีน

**1.2 parietal (oxyntic) cell** พบมากตรงส่วนกลางของต่อม มีหน้าที่สร้างกรดเกลือ (hydrochloric acid) และสาร intrinsic factor ที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมวิตามิน บี 12

**1.3 mucous neck cells** อยู่บริเวณคอของต่อม ลักษณะเป็นเซลล์รูปทรงกระบอก ทำหน้าที่สร้างเมือกมาเคลือบผิวของต่อมป้องกันไม่ให้เนื้อต่อมถูกทำลายโดยน้ำย่อยและกรดที่ต่อมสร้างออกมา

**1.4 enteroendocrine cells** ทำหน้าที่เป็นต่อมไร้ท่อ สร้างฮอร์โมนแกสตริน ควบคุมการหลั่งกรดและน้ำย่อยของกระเพาะอาหาร การหดตัวของหลอดอาหารส่วนล่างและการคลายตัวของหูรูดกระเพาะอาหาร

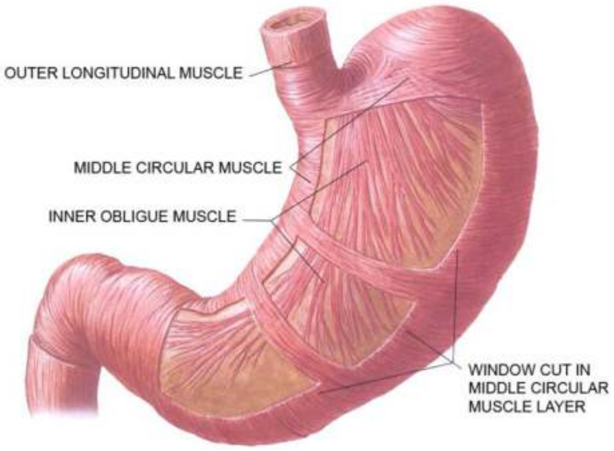



รูปที่ 9-18 จุลกายวิภาคของกระเพาะอาหาร

**2. Submucosa** ประกอบด้วยเนื้อยึดต่อที่เรียงตัวกันหลวมๆ ยึดชั้นเมือกไว้กับชั้นกล้ามเนื้อ

**3. Muscularis** ชั้นกล้ามเนื้อของกระเพาะอาหารแตกต่างจากชั้นกล้ามเนื้อของท่อทางเดินส่วนอื่น เนื่องจากประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ 3 ชั้น ชั้นนอกสุดเรียงตัวตามยาว (longitudinal) ชั้นกลางเรียงตัวเป็นวงรอบ (circular) และชั้นในเรียงตัวเป็นแนวเฉียง (oblique) บริเวณ pylorus กล้ามเนื้อชั้นกลางจะหนาตัวขึ้นทำหน้าที่เป็นหูรูดกระเพาะอาหาร (pyloric sphincter)

**4. Serosa** เป็นเนื้อยึดต่อที่คลุมด้วย mesothelium

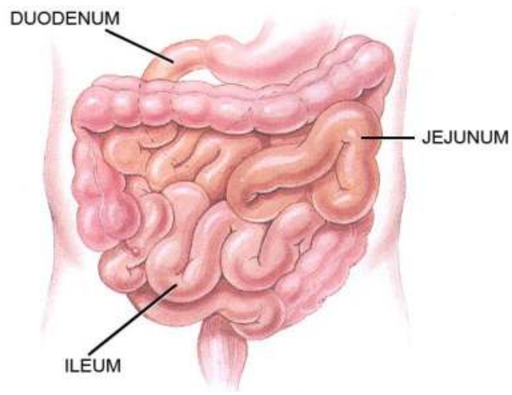



รูปที่ 9-20 แสดงลักษณะชั้นกล้ามเนื้อของกระเพาะ

## 2.9 ลำไส้เล็ก (Small intestine)

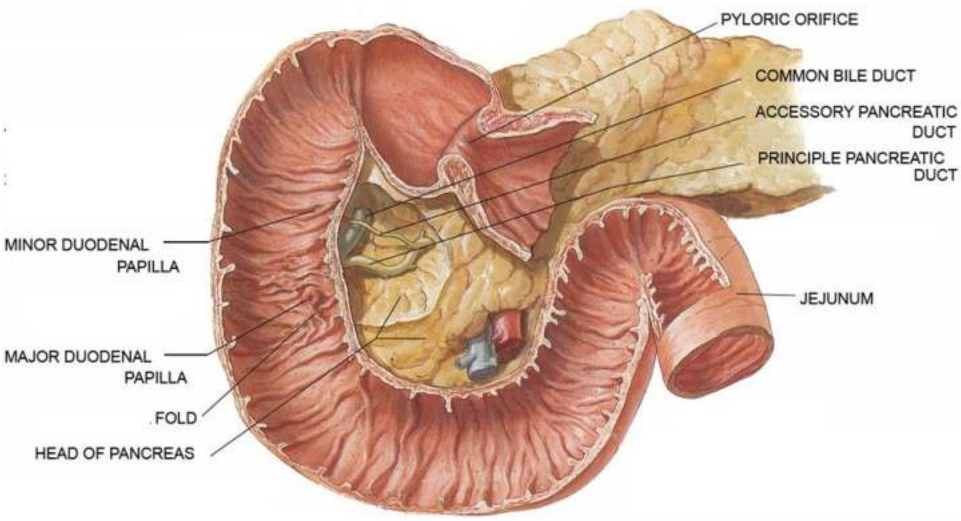
การย่อยอาหารและการดูดซึมอาหารเข้าสู่กระแสเลือดส่วนใหญ่เกิดขึ้นตรงส่วนที่ยาวที่สุดของท่อทางเดินอาหารเรียกว่าลำไส้เล็ก ซึ่งเริ่มตั้งแต่ pyloric sphincter ของกระเพาะอาหาร ขดไปมาอยู่ตรงส่วนกลางและส่วนล่างของช่องท้องจนถึง ileocaecal valve จึงเปิดเข้าสู่ลำไส้ใหญ่

ลำไส้เล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้วและมีความยาวประมาณ 21 ฟุต ส่วนใหญ่มีแผ่นเยื่อบุช่องท้องยึดลำไส้ไว้กับผนังด้านหลังของช่องท้อง เรียกว่า เยื่อแขวนลำไส้ (mesentery) ลำไส้เล็กแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ




รูปที่ 9-21 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้เล็ก

**1. Duodenum** เป็นลำไส้เล็กส่วนต้นที่สั้นที่สุด มีความยาวประมาณ 10 นิ้ว เริ่มตั้งแต่ pyloric sphincter ไปจนถึงจุดต่อกับลำไส้เล็กส่วนกลาง ตรงบริเวณที่เรียกว่า duodenojejunal flexure วางตัวอยู่ที่ผนังช่องท้องทางด้านหลังโดยขดเป็นรูปอักษร C ภายใน duodenum ช่วงกลางมีตุ่มนูน 2 อัน อันที่อยู่สูงกว่าเรียกว่า **minor duodenal papilla** มีรูเปิดของท่อน้ำย่อยจากตับอ่อน (accessory pancreatic duct) ตุ่มนูนอีกอันอยู่ต่ำลงมาประมาณ 2.5 ซม. มีขนาดใหญ่กว่าเรียกว่า **major duodenal papilla** มีรูเปิดของ hepatopancreatic ampulla (ampulla of Vater) ซึ่งเป็นทางออกร่วมกันของท่อหลักของตับอ่อน (main pancreatic duct) และท่อน้ำดีร่วม (common bile duct)

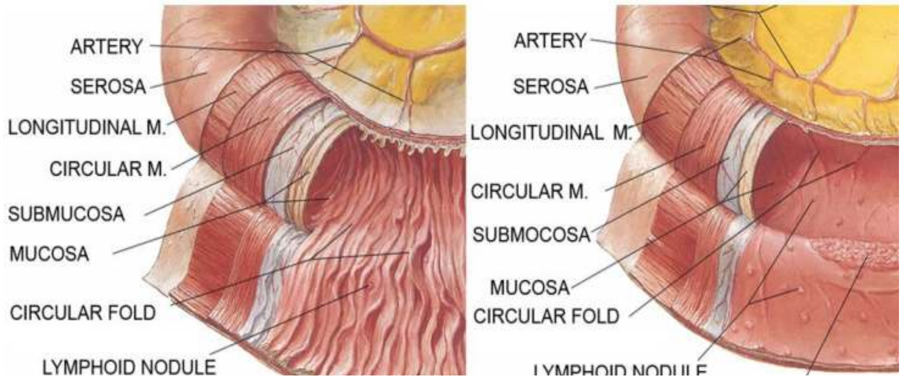



รูปที่ 9-22 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้เล็กส่วนต้น

**2. Jejunum** เป็นลำไส้เล็กส่วนกลาง ยาวประมาณ 8 ฟุต ขดตรงส่วนกลางของช่องท้องรอบสะดือ

**3. Ileum** เป็นลำไส้เล็กส่วนปลาย ยาวประมาณ 12 ฟุต อยู่ต่ำกว่าสะดือ ติดต่อกับลำไส้ใหญ่บริเวณ ileocaecal valve

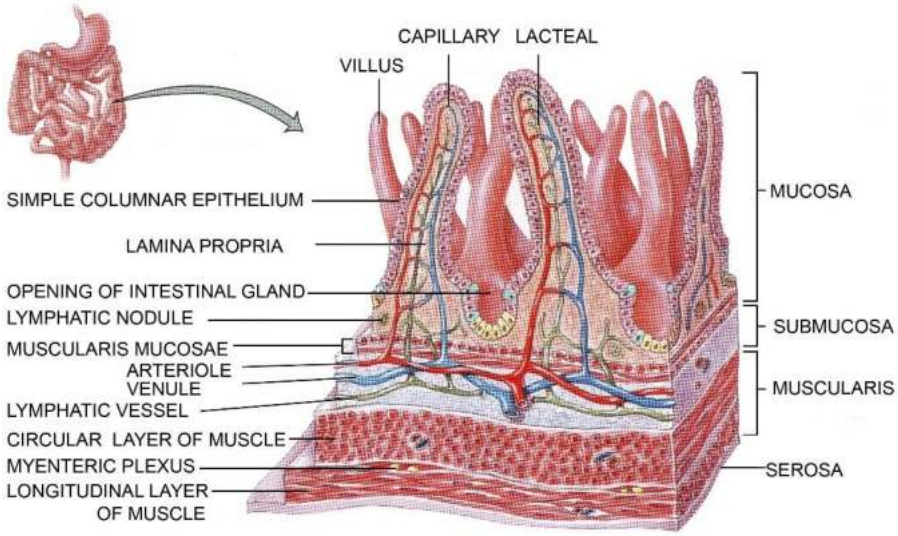
ลำไส้เล็กส่วนกลางและส่วนปลาย ไม่มีจุดแบ่งระหว่างลำไส้ทั้ง 2 ส่วนนี้อย่างชัดเจน ลักษณะที่ใช้สังเกตความแตกต่างได้ คือลำไส้เล็กส่วนกลางจะกว้างกว่า ผนังหนากว่า สีแดงสดกว่า ภายในมีรอยพับจีบตามขวาง (plica circulares) ชัดเจนและมีจำนวนมาก ส่วนลำไส้เล็กส่วนปลายจะมีเนื้อเยื่อน้ำเหลืองที่ผนัง เห็นเป็นแผ่นนูน เรียกว่า **Peyer's patches**




รูปที่ 9-23 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้เล็กส่วน jejunum และ ileum

## จุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก

ผนังของลำไส้เล็กมี 4 ชั้น ได้แก่ Mucosa, Submucosa, Muscularis, Serosa




รูปที่ 9-24 แสดงจุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก

**1. Mucosa** ชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กมีลักษณะพิเศษมองดูคล้ายผิวกำมะหยี่ เนื่องจาก การยื่นขึ้นไปของชั้นเยื่อเมือกเป็นโครงสร้างเรียกว่า **villi** มีความยาว 0.5-1 มม. และพบประมาณ 10-40 อันต่อ ตร.มม. ของผิวลำไส้ พบมากที่ jejunum การจัดเรียงตัวของชั้นเยื่อเมือกในลักษณะนี้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอาหารกับลำไส้เล็กให้มากขึ้น ทำให้การย่อยและการดูดซึมมีประสิทธิภาพสูง ผิวของ villi ประกอบด้วยเซลล์ที่ทำหน้าที่ดูดซึมสารอาหาร ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงผนังเซลล์ด้านที่สัมผัสอาหารให้เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายนิ้วมือเล็กๆ เรียกว่า **microvilli** ซึ่งช่วยเพิ่มผิวสัมผัสของเซลล์ในการดูดซึมด้วย

แกนของ villi คือชั้น lamina propria ซึ่งเป็นเนื้อยึดต่อที่มีร่างแหของหลอดเลือดเล็กๆ ฝังอยู่เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบหลอดน้ำเหลืองขนาดเล็ก เรียกว่า **Lacteal** อยู่ตรงแกนกลางของ villi สารอาหารที่ถูกดูดซึมโดยเซลล์ของเนื้อบุผิวของลำไส้จะแพร่ผ่านเข้าสู่หลอดเลือดและหลอดน้ำเหลืองตรงแกนของ villi เพื่อเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตและระบบน้ำเหลืองต่อไป

ตรงโคนของ villi จะมีรูเปิดของ intestinal glands (crypts of Lieberkuhn) ทำหน้าที่สร้างน้ำย่อยของลำไส้เล็ก ต่อมประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด

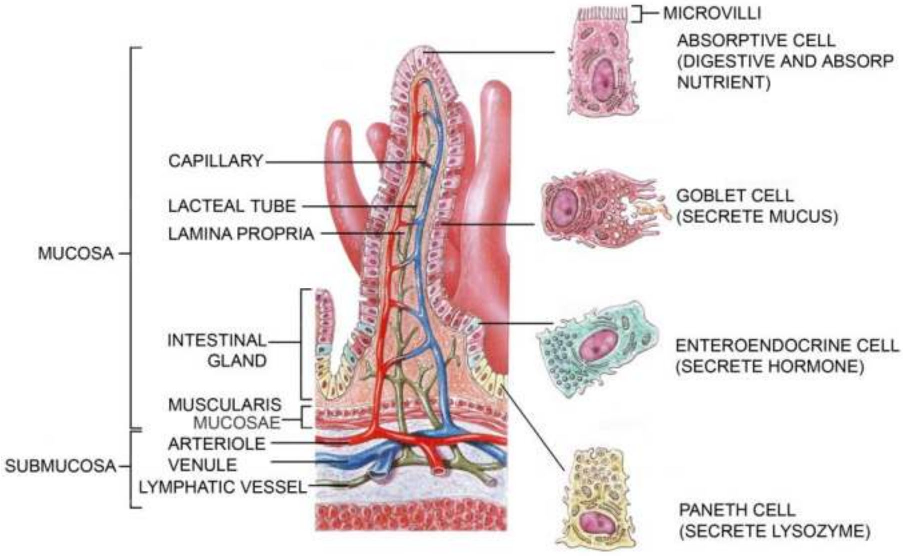
**1) Absorptive cells หรือ enterocyte** เป็นเซลล์ของเนื้อเยื่อบุผิวที่ต่อเนื่องลงมาในต่อมทำหน้าที่เกี่ยวกับการดูดซึมและสร้างน้ำย่อยบางชนิด เช่น lactase, sucrase, peptidase เป็นต้น

**2) Goblet cells** เป็นเซลล์ที่พบมากบริเวณ villi ทำหน้าที่สร้างเมือก

**3) Enteroendocrine cells** ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน

**4) Paneth cells** พบบริเวณส่วนล่างของต่อม ทำหน้าที่สร้าง lysozyme สำหรับทำลายแบคทีเรียที่ปะปนมากับอาหาร

**2. Submucosa** เป็นเนื้อยึดต่อที่มีหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลืองเป็นจำนวนมาก ชั้นนี้มีลักษณะพิเศษ คือ พบต่อมเมือก เรียกว่า duodenal (Brunner's) glands เป็นจำนวนมาก หน้าที่สร้างเมือกที่มีฤทธิ์เป็นด่างเพื่อป้องกันผนังลำไส้เล็กไม่ให้ถูกทำลายโดยน้ำย่อยและกรดจากกระเพาะอาหารและปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของอาหาร ให้เหมาะสมสำหรับการย่อยโดยน้ำย่อยในลำไส้เล็กต่อไป




รูปที่ 9-25 แสดงเซลล์ต่างๆของ intestinal glands

**3. Muscularis** ประกอบด้วยชั้นกล้ามเนื้อเรียบ 2 ชั้น ชั้นนอกเรียงตามยาว ชั้นในเรียงเป็นวงรอบ

**4. Serosa** ลำไส้ส่วนกลางและส่วนปลายมีเยื่อบุช่องท้องหุ้มรอบและยึดกับผนังช่องท้องด้านหลังด้วยเยื่อแขวนลำไส้ สำหรับลำไส้เล็กส่วนต้นนั้นมีเยื่อบุช่องท้องหุ้มเป็นบางส่วนเท่านั้น

## การเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมของลำไส้เล็ก

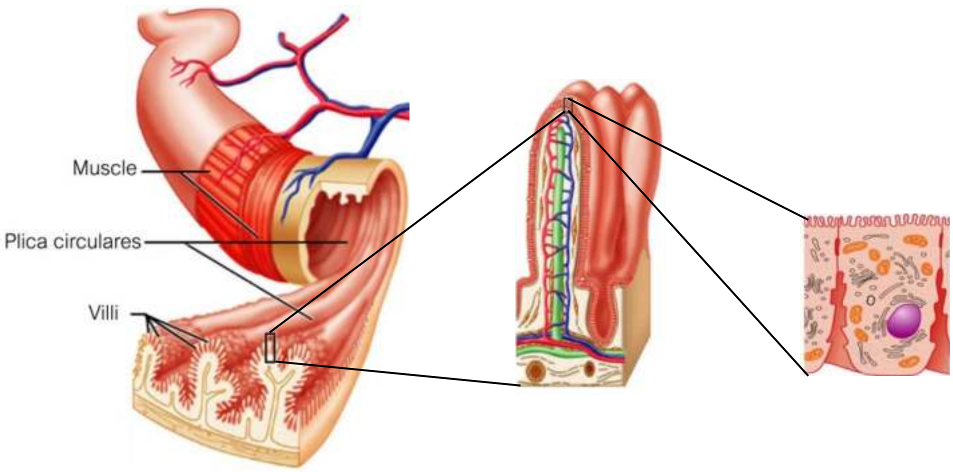
ลำไส้เล็กจึงมีลักษณะพิเศษที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึม ดังนี้

**1. ความยาว** ลำไส้เล็กมีความยาวที่สุด 21 ฟุต ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำนวนมาก

**2. Plica circulares** เป็นรอยพับจีบตามขวางภายในลำไส้เล็กมีความสูงประมาณ 1 ซม. พบมากในบริเวณลำไส้เล็กส่วน duodenum และ jejunum

**3. Villi** เป็นชั้นเยื่อเมือกที่ยื่นขึ้นไปเพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว

**4. Microvilli** เป็นส่วนของผนังเซลล์ที่ยื่นออกไปมีลักษณะคล้ายนิ้วมือเล็กๆ ทำหน้าที่ดูดซึมอาหาร

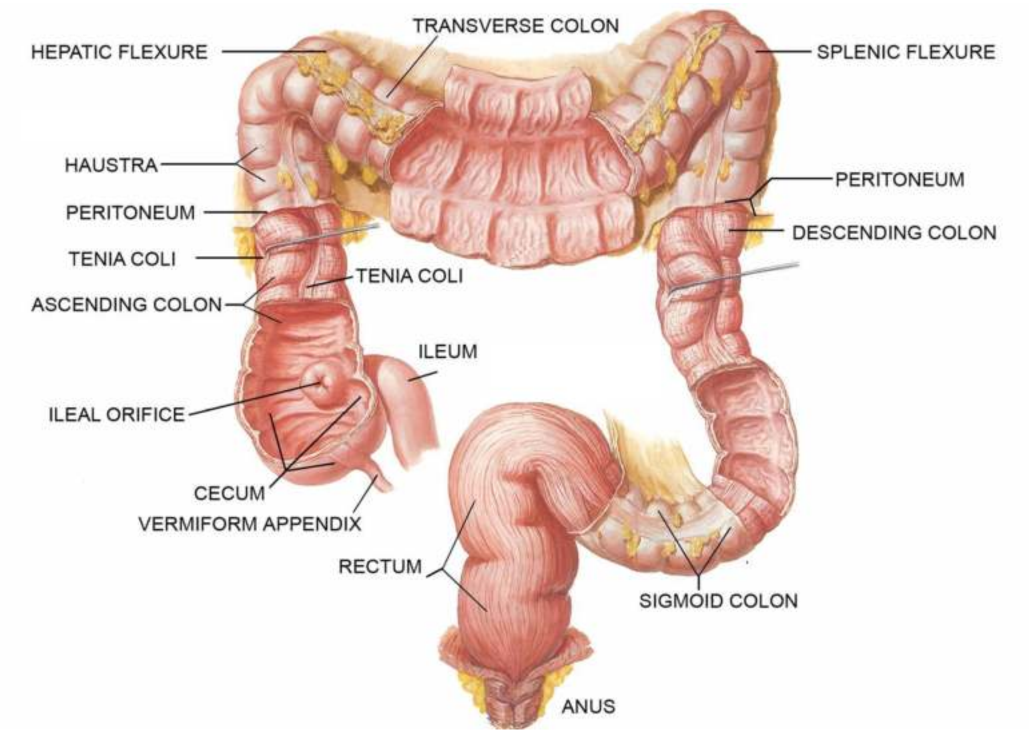



(A) Plica circulares (B) Villi (C) Microvilli

รูปที่ 9-26 แสดงลักษณะของ Plica circulares, Villi และ Microvilli

## 2.10 ลำไส้ใหญ่ (Large intestine)

ลำไส้ใหญ่มีความยาวประมาณ 1.5 เมตร (5 ฟุต) และมีเส้นผ่าศูนย์ภายในท่อประมาณ 2.5 นิ้ว เริ่มจากส่วนปลายของลำไส้เล็กส่วน ileum ไปจนถึงทวารหนัก (anus) ลำไส้ใหญ่ถูกยึดติดกับผนังช่องท้องทางด้านหลังโดยแผ่นเยื่อบุของช่องท้อง เรียกว่า mesocolon ลำไส้ใหญ่แบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 3 ส่วนคือ cecum, colon, rectum



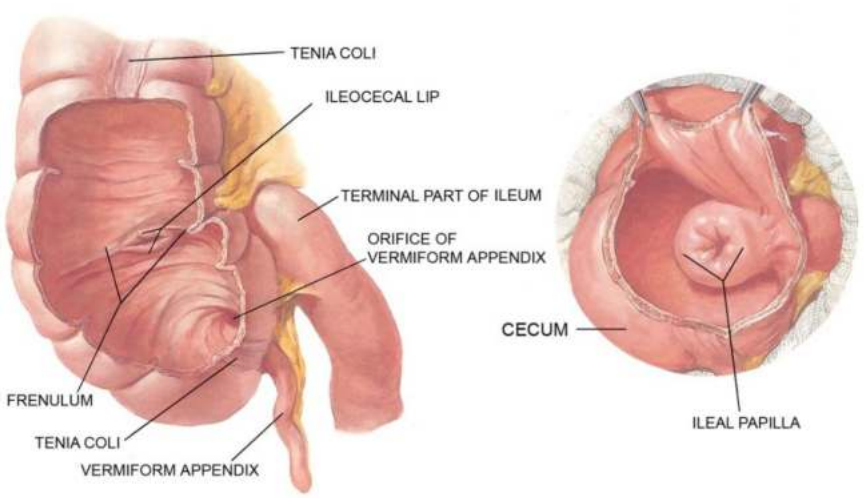

รูปที่ 9-27 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้ใหญ่

บริเวณรูเปิดจาก ileum เข้าสู่ลำไส้ใหญ่ จะมีรอยพับจีบของเนื้อเยื่อเมือก เรียกว่า ileocecal valve ทำหน้าที่เป็นลิ้นควบคุมการไหลของอาหารจากลำไส้เล็กไปสู่ลำไส้ใหญ่ ถัดจาก ileocecal valve ลงมาเป็นถุงตันยาวประมาณ 2.5 นิ้ว เรียกว่า cecum ปลายล่างของถุงตันนี้มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นท่อปลายตันยาวประมาณ 3 นิ้ว เรียกว่า **ไส้ติ่ง (vermiform appendix)** มีเยื่อแขวนลำไส้เรียกว่า meso appendix ยึดไส้ติ่งไว้กับส่วนล่างของ ileum และผนังด้านหลังของช่องท้องปลายด้านบนของ cecum ติดต่อกับลำไส้ใหญ่

Colon ซึ่งแบ่งเป็นส่วนย่อย 4 ส่วน คือ ascending colon, transverse colon, descending colon และ sigmoid colon

**ลำไส้ใหญ่ส่วนขึ้น (ascending colon)** เป็นอวัยวะที่อยู่หลังเยื่อบุช่องท้อง โดยวางตัวอยู่ด้านขวาของช่องท้องทอดขนานกับแนวกระดูกสันหลังเริ่มจากแอ่งด้านขวาของกระดูก ilium ขึ้นไปจนถึงตับแล้วจะหักมุม 90 องศาไปทางซ้าย จุดหักมุม เรียกว่า right colic flexure (hepatic flexure) จากนั้นจะทอดขวางช่องท้องไปทางซ้ายเรียกลำไส้ใหญ่ส่วนนี้ว่า **ลำไส้ใหญ่ส่วนขวาง (transverse colon)** เมื่อถึงใต้ม้ามจะหักมุม 90 องศา วางลงทางด้านล่างทำให้เกิด left colic flexure (splenic) flexure แล้วทอดตัวขนานกับแนวกระดูกสันหลังลงไปจนถึงแอ่งด้านซ้ายของกระดูก ilium เรียกว่า **ลำไส้ใหญ่ส่วนล่าง (descending colon)** ซึ่งเป็นอวัยวะที่อยู่หลังเยื่อบุช่องท้องเช่นเดียวกับ ascending colon เมื่อถึงสันของกระดูก ileum (iliac crest) ด้านซ้ายจะขดเป็นรูปอักษร S เข้าสู่แนวกลางตัว

เรียกว่า **ลำไส้ใหญ่ส่วนขด (sigmoid colon)** ซึ่งสิ้นสุดกลายเป็นลำไส้ใหญ่ส่วนไส้ตรง (rectum) ที่ระดับกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บอันที่ 3




รูปที่ 9-28 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของ ileocecal sphincter (ileocecal valve)

**จุลกายวิภาคของลำไส้ใหญ่**

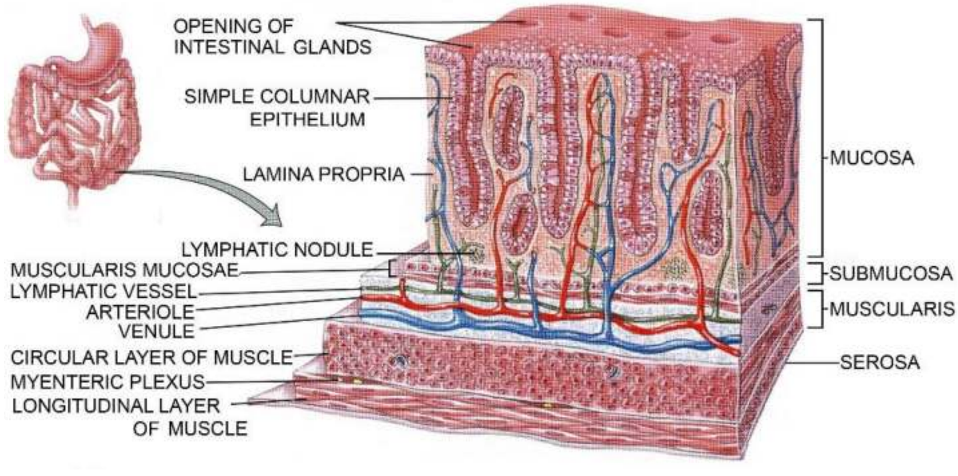
ผนังของลำไส้ใหญ่ประกอบด้วย 4 ชั้น คือ

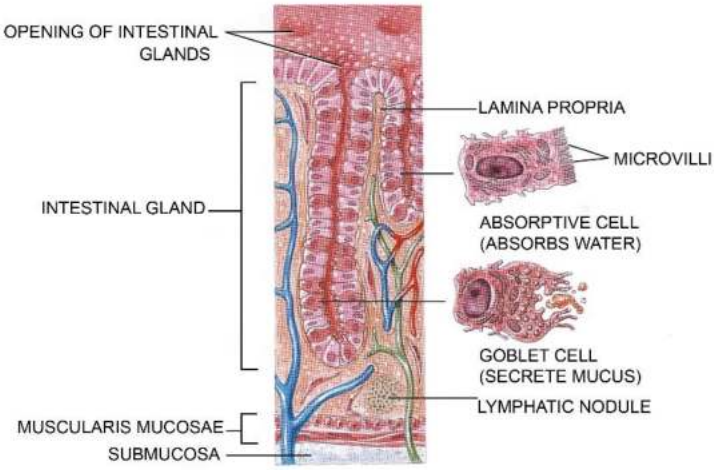
**1. Mucosa** ชั้นเยื่อเมือก มีความแตกต่างจากลำไส้เล็ก คือไม่มี villi และ plica circulars มี goblet cells ทำหน้าที่สร้างเมือกเพื่อช่วยหล่อลื่นกากอาหารในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านไปตามลำไส้ใหญ่

**2. Submucosa** เป็นชั้นของเนื้อยึดต่อ

**3. Muscularis** ชั้นกล้ามเนื้อของลำไส้ใหญ่มี 2 ชั้น คือ ชั้นในเรียงตัวเป็นวงรอบและชั้นนอกเรียงตัวเรียงตัวตามยาว แต่มีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากท่อทางเดินอาหารส่วนอื่นคือชั้นกล้ามเนื้อตามยาวมีการหนาตัวขึ้นเป็นแถบตามยาว 3 แถบ เรียกว่า taeniae coli แรงตึงตัวของแถบเหล่านี้ดึงให้ลำไส้ใหญ่มีลักษณะเป็นกระพุ้ง สลับกับรอบคอดเรียกว่า haustra (sacculations)

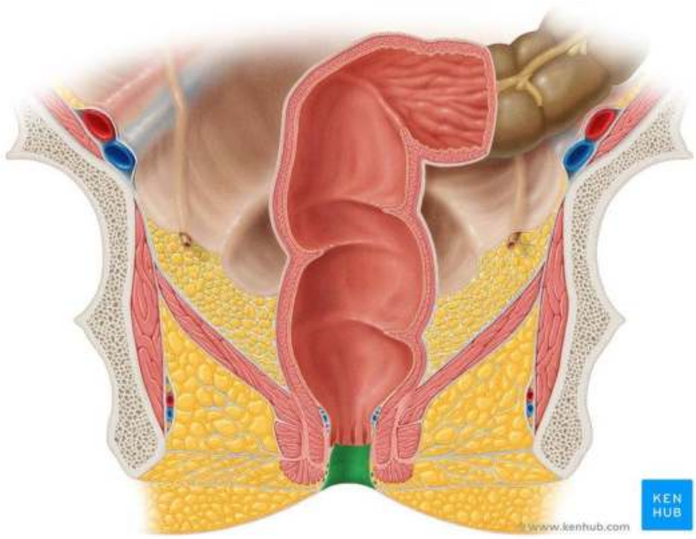
**4. Serosa** เยื่อบุช่องท้องที่หุ้มลำไส้ใหญ่บริเวณที่อยู่ตรงกับ taeniae coli จะมีถุงไขมันเล็กๆเกาะอยู่เรียกว่า epiploic appendages






รูปที่ 9-30 แสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของลำไส้ใหญ่

**ไส้ตรง (rectum)** เป็นส่วนปลาย 20 เซนติเมตร (8 นิ้ว) ของท่อทางเดินอาหาร วางตัวอยู่ทางด้านหน้าต่อกระดูก กระเบนเหน็บและกระดูกก้นกบ ส่วนปลายสุดของ rectum ซึ่งมีความยาวประมาณ 1 นิ้วจะตีบแคบลงเรียกว่า anal canal เยื่อเมือกของ anal canal จัดตัวเป็นรอยพับจีบตามยาวเรียกว่า anal columns บรรจุร่างแหหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ รูเปิดของ anal canal ออกสู่ภายนอกเรียกว่ารูทวารหนัก (anus) มีกล้ามเนื้อควบคุมการเปิดปิดเพื่อการขับถ่ายกากอาหาร 2 ชั้นคือ ชั้นในเป็นกล้ามเนื้อเรียบ เรียกว่า internal anal sphincter ควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ ชั้นนอกเป็นกล้ามเนื้อลายเรียกว่า external anal sphincter ควบคุมภายใต้อำนาจจิตใจ




รูปที่ 9-29 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของไส้ตรง (rectum)
ที่มา https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/the-anal-canal

**ความแตกต่างระหว่างลำไส้ใหญ่ และลำไส้เล็ก**

1. ลำไส้ใหญ่มีขนาดใหญ่กว่าลำไส้เล็ก
2. เยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่ไม่มี villi และไม่มีรอยพับจีบตามขวาง (plica circulares)

3. ชั้นกล้ามเนื้อตามยาวของลำไส้ใหญ่หนาตัวเป็นแถบ 3 แถบเรียกว่า taeniae coli ทำให้ลำไส้ใหญ่มีลักษณะเป็นกระพุ้งสลับกับรอบคอด (haustration, sacculation)

4. ชั้น serosa ของลำไส้ใหญ่มีไขมันมาสะสมเป็นติ่งไขมันเรียกว่า epiploic appendages

## 2.11 ตับ (Liver)

ตับเป็นต่อมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในร่างกาย ในผู้ใหญ่มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 1,500 กรัม วางตัวอยู่ในช่องท้องด้านบนขวาใต้ต่อกระบังลมกินเนื้อที่ใต้ชายโครงขวาทั้งหมดและยื่นเข้าไปบริเวณลิ้นปี่และใต้ชายโครงซ้ายบางส่วน รูปร่างของตับเป็นรูปลิ่ม ในภาวะสดมีสีน้ำตาลแดง ขอบล่างของตับจะแหลมไม่โค้งมนเหมือนขอบด้านอื่นๆ ทำให้สามารถแยกผิวด้านล่างออกจากผิวด้านอื่นได้อย่างชัดเจน ที่ผิวล่างของตับมีบริเวณที่เรียกว่า **ขั้วตับ (porta hepatis)** ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีโครงสร้างสำคัญผ่านเข้าและออกจากตับ ได้แก่ **Hepatic artery** (นำเลือดที่มีออกซิเจนสูงเข้าสู่ตับ) **Hepatic portal vein** (นำเลือดที่มีสารอาหารที่ถูกดูดซึมจากลำไส้เข้าสู่ตับ) **Bile duct** (เป็นท่อน้ำดีที่ตับสร้างส่งออกสู่ภายนอก) ตับเกือบทั้งหมดถูกคลุมด้วยเยื่อบุช่องท้อง ซึ่งทำหน้าที่ยึดตับไว้กับโครงสร้างที่อยู่ใกล้เคียง เยื่อบุช่องท้องแต่ละส่วนมีชื่อเรียกแตกต่างกัน ดังนี้

=> **Coronary ligament** ยึดผิวด้านบนของตับไว้กับกระบังลม

=> **Falciform ligament** ยึดผิวด้านหน้าของตับไว้กับกะบังลมและผนังหน้าท้อง บริเวณขอบล่างของ falciform ligament จะมีแท่งเอ็นกลมๆทอดตัวอยู่โดยยึดระหว่างตับกับสะดือ เรียกว่า round ligament of liver

=> **Lesser omentum** ยึดขั้วตับไว้กับกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนต้น

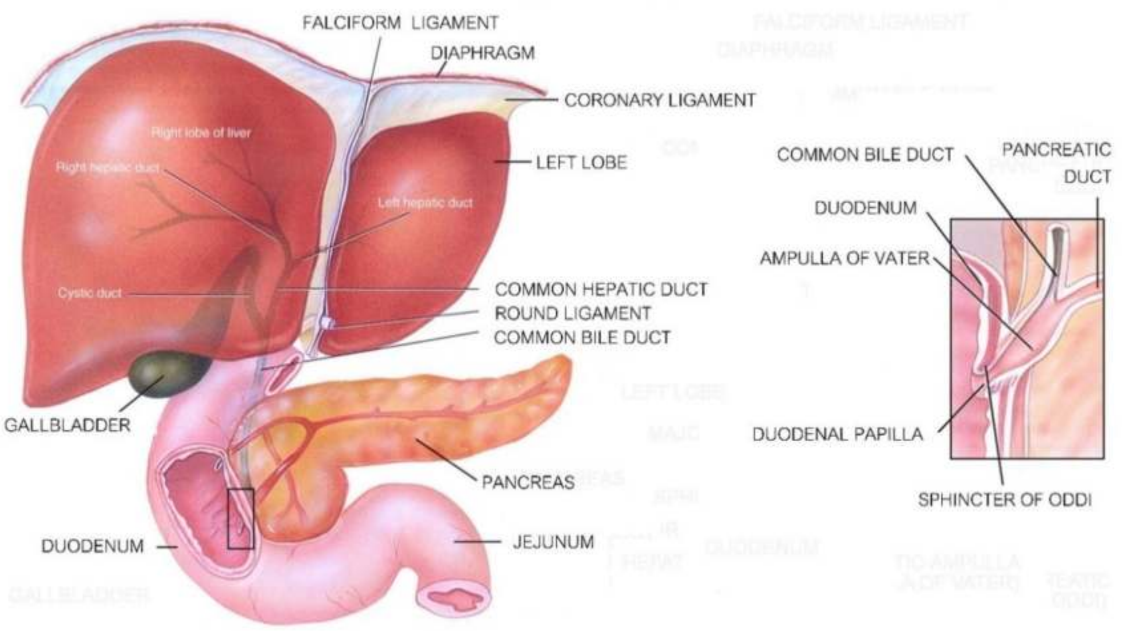
ตับแบ่งออกเป็น 4 กลีบ (lobe) ได้แก่

=> **Right lobe** อยู่ทางด้านขวาต่อ falciform ligament

=> **Left lobe** ทางด้านซ้ายของ falciform ligament

=> **Quadrate lobe** อยู่ทางด้านหน้าระหว่างแอ่งของถุงน้ำดีกับ round ligament of liver

=> **Caudate lobe** อยู่ทางด้านหลังของตับ



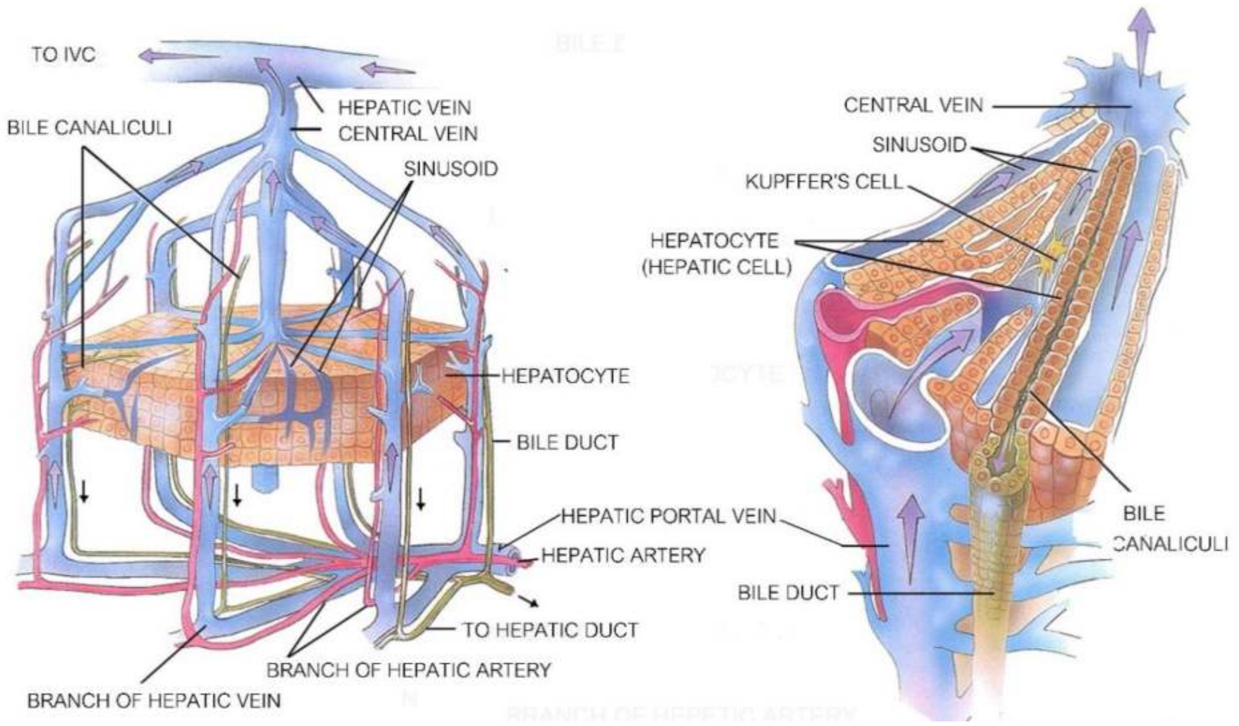

รูปที่ 9-31 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของตับ

**ลักษณะทางจุลกายวิภาคของตับ**

เนื้อตับประกอบขึ้นด้วยหน่วยโครงสร้างพื้นฐานเรียกว่า hepatic lobule มีขอบเขตเป็นรูปหกเหลี่ยม ประกอบด้วย central vein เป็นจุดศูนย์กลาง ตรงมุมของรูปทรงหลายเหลี่ยมมีโครงสร้างที่เรียกว่า **portal triad** ประกอบด้วยโครงสร้างสำคัญ 3 อย่างคือ hepatic portal vein, hepatic artery และ bile duct

เซลล์ตับ เรียกว่า hepatocytes มีรูปร่างเป็นรูปทรงกลมหลายเหลี่ยมเรียงตัวเป็นแผ่น มีความหนาของเซลล์ชั้นเดียวเรียกว่า hepatic cord แผ่เป็นรังสีออกไปรอบๆ central vein มีช่องว่างเรียกว่า sinusoid ทำให้เซลล์ตับสามารถได้รับสารอาหารและออกซิเจนจากเลือดได้ จากนั้นเลือดจะไหลเข้าสู่ central vein, hepatic vein ผ่าน inferior vena cava เพื่อกลับไปยังหัวใจ นอกจากนี้ภายใน sinusoid ยังมี Kupffer cells ซึ่งทำหน้าที่เก็บกินเซลล์เม็ดเลือดที่หมดอายุและแบคทีเรียที่ปนมากับเลือด

เซลล์ตับสร้างน้ำดีแล้วส่งผ่านออกมาทางท่อน้ำดีเล็กๆ (bile canaliculi) ที่แทรกอยู่ระหว่างเซลล์ตับ ท่อเหล่านี้รวมตัวกันเป็นท่อใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็น hepatic duct ขวาและซ้ายซึ่งจะรวมกันเป็น common hepatic duct นำน้ำดีออกจากตับ



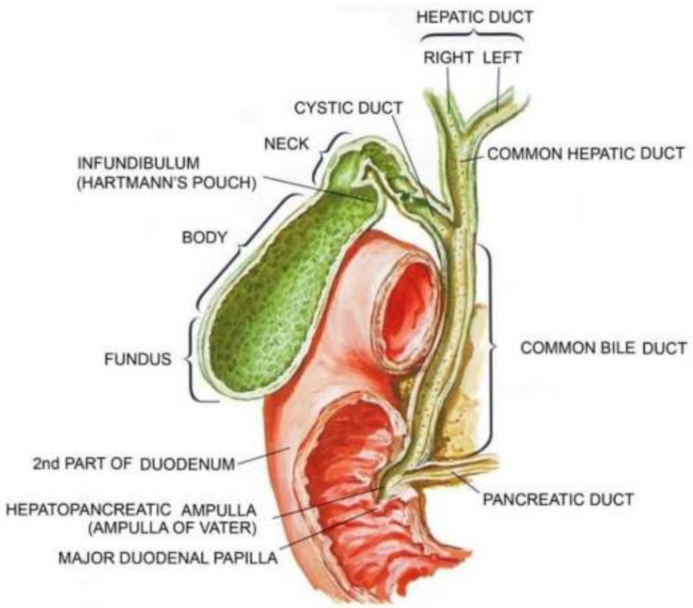

รูปที่ 9-32 แสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของตับ

**หน้าที่ของตับ**

1. ควบคุม metabolism ของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน
2. กำจัดและทำลายพิษของยาและฮอร์โมนบางชนิด เช่น penicillin, estrogen เป็นต้น
3. สร้างน้ำดีและเกลือน้ำดีขับออกสู่ลำไส้เล็กสำหรับการย่อยและการดูดซึมสารอาหารพวกไขมัน
4. เก็บสะสมอาหาร เช่น glucose ไว้ในรูปของ glycogen นอกจากนี้ยังสะสมวิตามิน A, B12, C, D, E และ K รวมทั้งแร่ธาตุพวกเหล็กและทองแดงด้วย
5. กำจัดเซลล์เม็ดเลือดที่หมดอายุและแบคทีเรียที่อยู่ในเลือด

## 2.12 ถุงน้ำดี (Gallbladder)

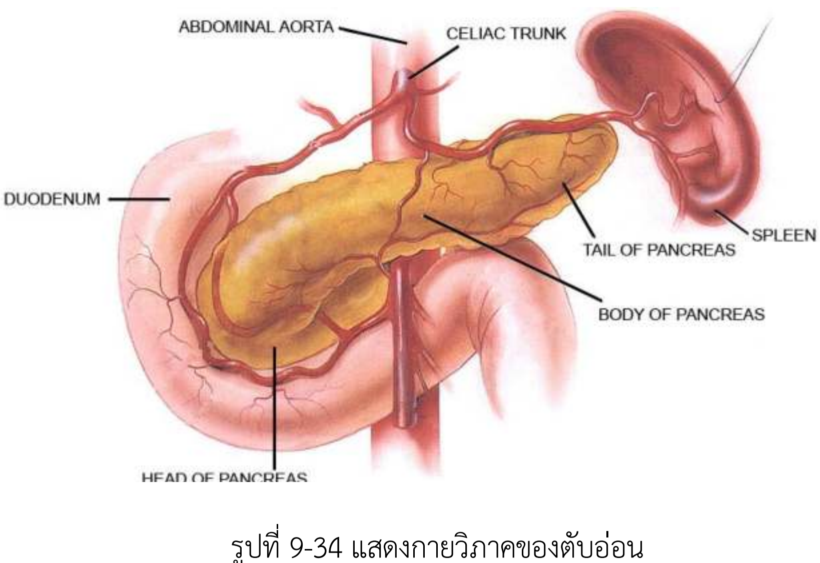
ถุงน้ำดีเป็นอวัยวะที่มีรูปร่างเหมือนลูกแพร์ มีความยาวประมาณ 7-10 เซนติเมตร วางอยู่ในแอ่งที่ผิวด้านล่างของตับทางด้านหน้า ระบบทางเดินน้ำดีประกอบด้วย common hepatic duct เป็นท่อนำน้ำดีออกจากตับ และ cystic duct ซึ่งเป็นทางผ่านของน้ำดีเข้า และออกจากถุงน้ำดี ถุงน้ำดีจะทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำดีไว้ชั่วคราวเพื่อปล่อยลงสู่ลำไส้เล็กเมื่อมีการย่อยอาหารโดยผ่านทาง common bile duct




รูปที่ 9-33 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของถุงน้ำดีและท่อทางเดินน้ำดี

## 2.13 ตับอ่อน (Pancreas)

ตับอ่อน เป็นอวัยวะที่วางตัวอยู่หลังช่องท้อง (retroperitoneum organ) หลังส่วนโค้งใหญ่ของกระเพาะอาหาร ยาวประมาณ 12-15 ซม. หนาประมาณ 2.5 ซม.  แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัว (head) ส่วนลำตัว (body) และส่วนหาง (tail) ส่วนหัวเป็นส่วนกว้างมากที่สุด วางตัวอยู่ในส่วนโค้งรูปตัว C ของลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม ถัดไปทางซ้ายเป็นส่วนลำตัว ทอดตัวเฉียงขึ้นไปทางซ้ายมือ และแคบลงเป็นส่วนหาง ไปสิ้นสุดที่ขั้วของม้าม




รูปที่ 9-34 แสดงกายวิภาคของตับอ่อน

**จุลกายวิภาคของตับอ่อน**

ตับอ่อนเป็นอวัยวะที่มีทั้งต่อมไร้ท่อและมีท่อ ส่วนที่เป็นต่อมไร้ท่อ (endocrine function) พบประมาณ 1% ของเนื้อต่อม ประกอบด้วยกลุ่มเนื้อเยื่อเรียกว่า **pancreatic islets (islets of Langerhans)** โดยมีเซลล์ 4 ชนิด ทำหน้าที่หลั่งฮอร์โมน ดังนี้

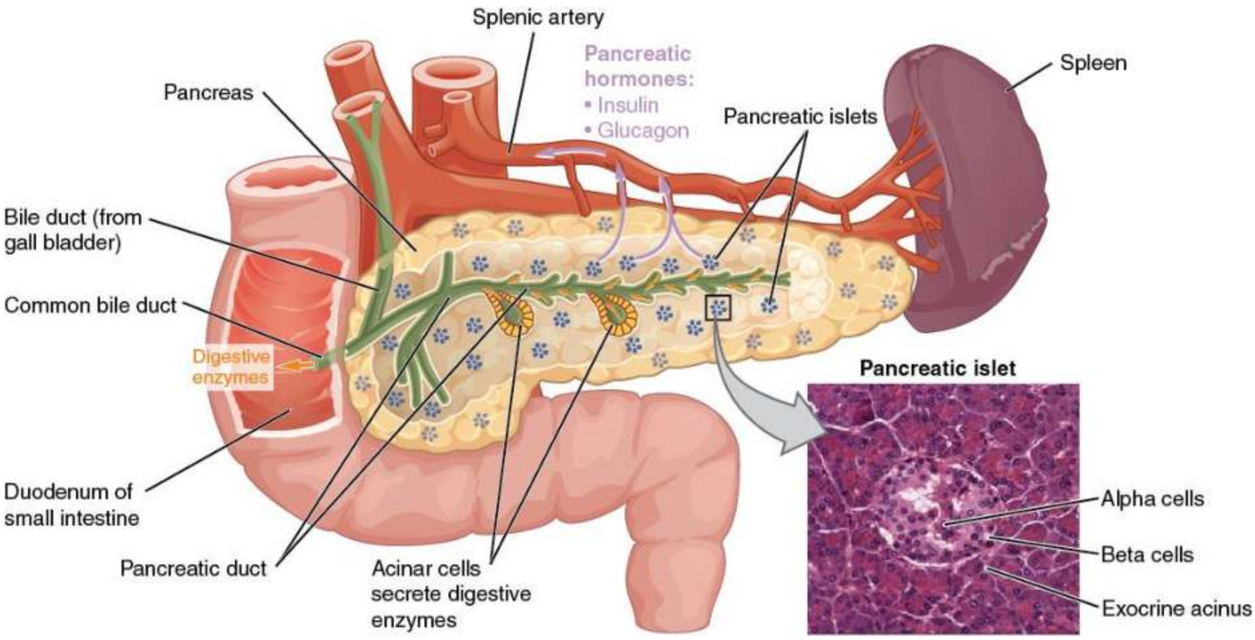
**1) Alpha cells** หลั่ง glucagon

**2) Beta cells** หลั่ง insulin

**3) Delta cells** หลั่ง somatostatin

**4) F cells** หลั่ง pancreatic polypeptide

เนื้อตับอ่อนส่วนที่เหลืออีก 99 % เป็นทำหน้าที่เป็นต่อมมีท่อ (exocrine function) ประกอบกลุ่มเซลล์เรียกว่า acini ทำหน้าที่สร้าง pancreatic juice (น้ำย่อยตับอ่อน) ประมาณ 1,200-1,500 มล./วัน น้ำย่อยประกอบด้วยน้ำ และไบคาร์บอเนตจำนวนมาก (pH ≈ 7.1-8.2) และน้ำย่อยอีกหลายชนิด ได้แก่ pancreatic amylase ย่อยคาร์โบไฮเดรท, trypsin, chymotripsin และ carboxypeptidase ย่อยโปรตีน, pancreatic lipase ย่อยไขมัน และ ribonuclease, deoxyribonuclease ย่อยกรดนิวคลีอิก

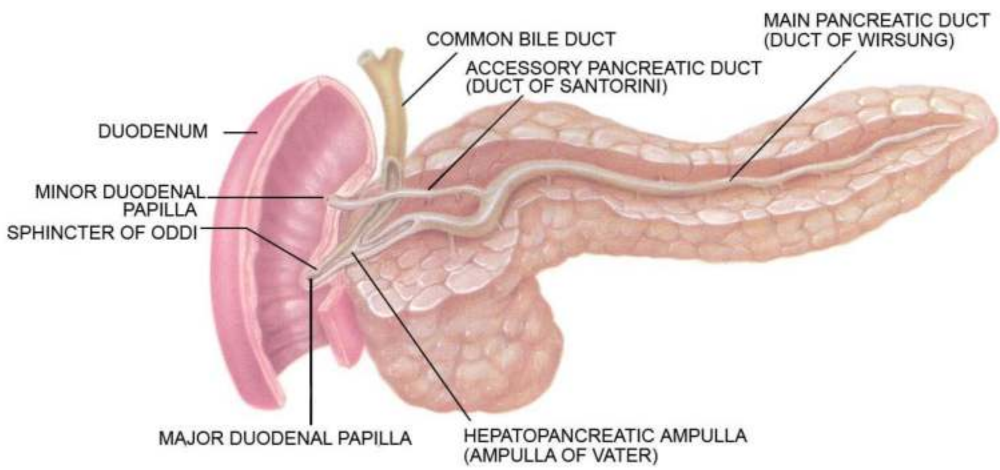



รูปที่ 9-35 แสดงจุลกายวิภาคของตับอ่อน

น้ำย่อยตับอ่อน จะหลั่งเข้าสู่ท่อเล็กๆ จากนั้นท่อรวมกันมีขนาดใหญ่ขึ้น กลายเป็นท่อน้ำย่อยตับอ่อนขนาดใหญ่ 2 ท่อ หลั่งน้ำย่อยเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนต้น ได้แก่

**1. Main pancreatic duct (Duct of Wirsung)** เป็นท่อหลักมีขนาดใหญ่ ท่อจะไปรวมกับท่อน้ำดีร่วม (common bile duct) กลายเป็นกระเปาะสั้นๆ เรียกว่า hepatopancreatic ampulla (ampulla of Vater) เปิดเข้าสู่ ดูโอดินัมตรงตุ่มนูน major duodenal papilla โดยมีหูรูด **sphincter of Oddi** ทำหน้าที่เป็นลิ้นปิด - เปิดการไหลของน้ำดีและน้ำย่อยตับอ่อนเข้าสู่ลำไส้เล็ก

**2. Accessory pancreatic duct (Duct of Santorini)** ท่อมีขนาดเล็กกว่า เปิดเข้าสู่ดูโอดินัมตรงตุ่มนูน minor duodenal papilla ซึ่งอยู่เหนือ major duodenal papilla ประมาณ 2.5 ซม.




รูปที่ 9-36 แสดงกายวิภาคของท่อน้ำย่อยตับอ่อน

# ตอนที่ 3
# สรีรวิทยาระบบย่อยอาหาร

หน้าที่หลักของระบบทางเดินอาหารประกอบด้วย 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ

**1. การเคลื่อนไหว (motility)** เป็นการคลุกเคล้าอาหารและผลักไล่อาหารจากปากลงไปยังส่วนล่างของทางเดินอาหาร มีอัตราการเคลื่อนที่ในส่วนต่างๆ แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหน้าที่ของอวัยวะนั้นๆ

**2. การหลั่ง (secretion)** เป็นการหลั่งน้ำ อิเล็กโตรลัยท์ น้ำย่อย จากต่อมมีท่อในทางเดินอาหาร ดังนี้

| | |
|---|---|
| => น้ำลาย (saliva) | 1,500 มล./วัน |
| => น้ำย่อยกระเพาะอาหาร (gastric juice) | 2,500 มล./วัน |
| => น้ำย่อยตับอ่อน (pancreatic juice) | 1,500 มล./วัน |
| => น้ำดี (bile) | 500 มล./วัน |
| => น้ำย่อยลำไส้ (succus entericus) | 1,500 มล./วัน |
| => สารคัดหลั่งลำไส้ใหญ่ (colonic secretion) | 50-100 มล./วัน |

**3. การย่อย (digestion)** เป็นการย่อยอาหารที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก การย่อยมี 2 ชนิดคือ การย่อยเชิงกล (mechanical digestion) เช่น การกัด การเคี้ยว การบีบตัวของกระเพาะอาหารลำไส้ อีกชนิดเป็นการย่อยเชิงเคมี (chemical digestion) โดยน้ำย่อยชนิดต่างๆ ในทางเดินอาหาร เพื่อให้สามารถดูดซึมได้

**4. การดูดซึม (absorption)** เป็นการดูดซึมสารอาหารต่างๆ ในโพรงของทางเดินอาหาร เข้าสู่เซลล์ที่ทำหน้าที่ในการดูดซึม

## 3.1 การเคลื่อนไหวของระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal motility)

การเคลื่อนไหวของระบบทางเดินอาหารถูกควบคุมและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบที่ผนังทางเดินอาหาร ได้แก่

1) คุณสมบัติเฉพาะของกล้ามเนื้อทางเดินอาหาร

2) ระบบประสาท ได้แก่ ระบบประสาท ANS และ ENS

3) ฮอร์โมนในกระแสเลือดและสารเคมี ฮอร์โมนของทางเดินอาหาร

### 3.1.1 ปาก (Mouth)

ปากเป็นทางรับอาหารเข้าสู่ร่างกาย และเกี่ยวข้องกับการรับรส การพูด การเปล่งเสียง ในบางสภาวะอาจมีหน้าที่ช่วยในการหายใจ ในระบบของทางเดินอาหาร ปากมีหน้าที่

1) การเคลื่อนไหว ได้แก่ การเคี้ยว การกลืน

2) หลั่งน้ำลาย จากต่อมน้ำลาย 3 คู่ และจากเยื่อบุในช่องปาก

3) การย่อย ทั้งแบบเชิงกลและเคมี โดยอาศัยน้ำย่อยในน้ำลาย

4) การดูดซึม เช่น การให้ยาอมใต้ลิ้น (sublingual medication) ซึ่งมีข้อดีที่ออกฤทธิ์ได้เร็วและไม่ผ่าน portal vein จึงไม่ถูกทำลายที่ตับ

**การเคี้ยวอาหาร (Mastication, chewing)** เป็นการทำงานร่วมกัน โดยกล้ามเนื้อลายของขากรรไกร ปาก แก้ม และลิ้น กล้ามเนื้อสำหรับการเคี้ยวที่สำคัญ คือ masseter หน้าที่สำคัญของการเคี้ยวอาหาร ได้แก่

1) ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง เป็นการเพิ่มพื้นที่ให้แก่น้ำย่อยในระบบทางเดินอาหาร และยังทำให้กลืนได้สะดวก

2) ทำให้อาหารได้สัมผัสกับตัวรับรู้รสอาหาร (taste receptor)

3) ทำให้มีการย่อยอาหารจำพวกแป้ง โดยเอ็นไซม์ salivary amylase นอกจากนี้น้ำลายยังทำให้ก้อนอาหารอ่อนนุ่ม กลืนได้สะดวก

**การกลืนอาหาร (Swallowing, deglutition)** การเริ่มต้นของการกลืนอาหาร อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ หลังจากนั้นแล้วเป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ (reflex control) การกลืนอาหารมี 3 ระยะ คือ

**1) การกลืนอาหารในปาก (Oral phase)** ระยะเริ่มต้นของการกลืน อยู่ในอำนาจจิตใจ เมื่ออาหารพร้อมที่จะกลืน จะถูกม้วนเข้าไปในคอหอย โดยอาศัยแรงดันจากลิ้น ขณะเดียวกันก้อนอาหารจะไปกระตุ้นตัวรับความรู้สึกสัมผัสเป็นการเริ่มต้นปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติของการกลืน

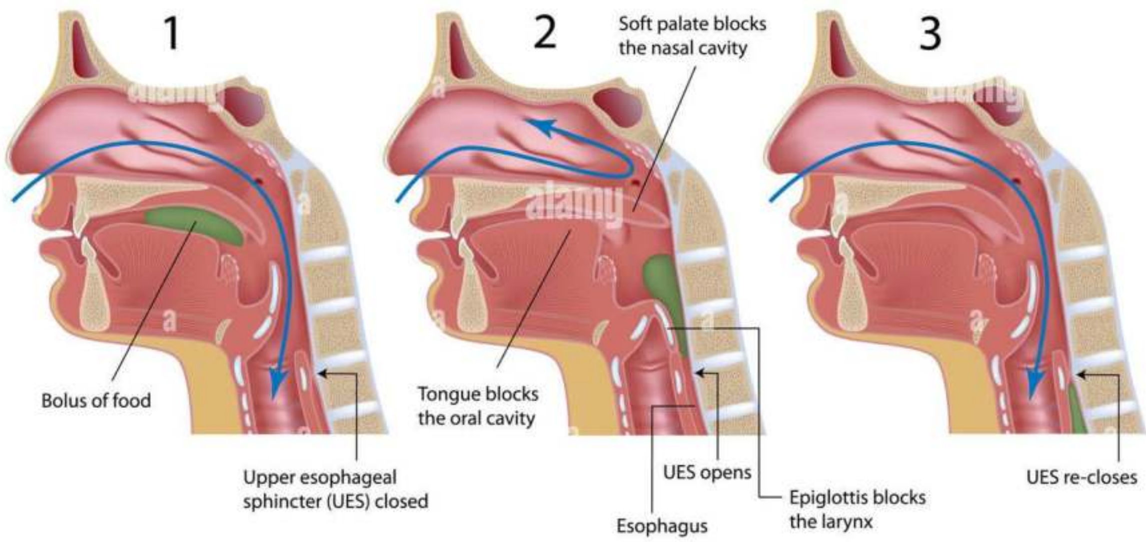
**2) การกลืนอาหารบริเวณคอหอย (Pharyngeal phase)** เป็นระยะที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ เรียง ลำดับขั้นตอน ดังนี้

=> เพดานอ่อนจะถูกดึงขึ้นไปปิดทางติดต่อกับโพรงจมูก เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารเข้าไปในโพรงจมูก และเปิดทางให้อาหารเคลื่อนลงสู่คอหอย

=> สายเสียงจะถูกดึงเข้าหากัน กล่องเสียงจะเคลื่อนไปข้างหน้าและถูกยกขึ้นไปชนฝาปิดกล่องเสียง เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารตกลงไปในหลอดลม และช่วยให้กล้ามเนื้อหูรูดส่วนบนของหลอดอาหารคลายตัว

=> ขณะที่กล้ามเนื้อหูรูดบริเวณหลอดอาหารส่วนบนคลายตัว กล้ามเนื้อคอหอยส่วนบนจะบีบตัวดันอาหารลงคอหอยอย่างงรวดเร็ว

**3) การกลืนอาหารบริเวณหลอดอาหาร (Esophageal phase)** การกลืนในระยะนี้ถูกควบคุมการกลืนโดยศูนย์ควบคุมการกลืน เมื่ออาหารผ่านเข้ามาในหลอดอาหาร จะมีการการบีบตัวแบบ peristalsis

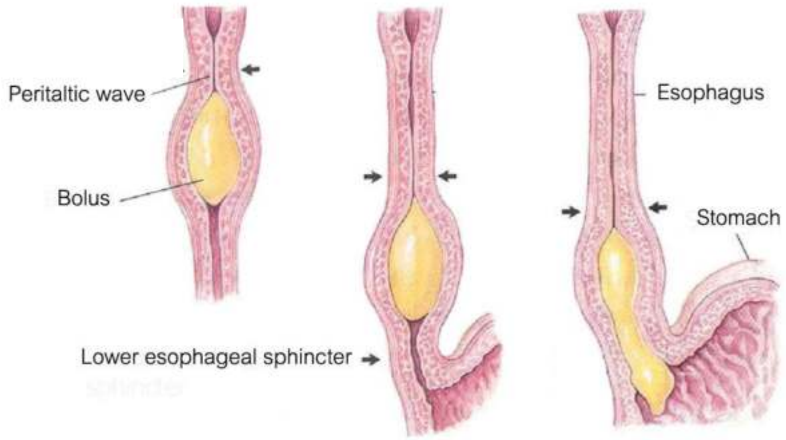



รูปที่ 9-37 แสดงขั้นตอนการกลืนอาหาร

### 3.1.2 หลอดอาหาร (Esophagus)

มีความยาวประมาณ 20-25 ซม. หลอดอาหารส่วนบน 1 ใน 3 ผนังเป็นกล้ามเนื้อลายอยู่ภายใต้การควบคุมของจิตใจ ที่เหลือผนังเป็นกล้ามเนื้อเรียบ หน้าที่หลักของหลอดอาหารคือ เป็นทางผ่านให้อาหารผ่านจากปากลงสู่กระเพาะอาหาร และป้องกันไม่ให้อาหารในกระเพาะอาหารไหลย้อนกลับ เมื่ออาหารถูกกลืนเข้ามาในหลอดอาหาร หลอดอาหารจะทำหน้าที่เคลื่อนอาหารจากคอหอยลงสู่กระเพาะอาหาร โดยมีกล้ามเนื้อหูรูดบริเวณหลอดอาหาร

ส่วนบน (Upper esophageal sphincter, UES) จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อาหารเข้ามาในหลอดอาหาร และกล้ามเนื้อหูรูดบริเวณหลอดอาหารส่วนล่าง (Lower esophageal sphincter, LES) จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อาหารย้อนกลับเข้ามาในหลอดอาหาร




รูปที่ 9-38 แสดงการบีบตัวของหลอดอาหาร

เมื่ออาหารผ่านหูรูด UES ลงมาจะเริ่มต้นมีการบีบตัวแบบ primary peristalsis เกิดขึ้นโดยมีการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อวงกลมและตามยาวอย่างสัมพันธ์และต่อเนื่องกัน ทำให้อาหารเคลื่อนผ่านหลอดอาหารลงมาถึงบริเวณกล้ามเนื้อหูรูด LES มีผลให้กล้ามเนื้อหูรูด LES คลายตัวให้อาหารผ่านเข้าสู่กระเพาะอาหารได้ หลังจากนั้นกล้ามเนื้อหูรูด LES จะบีบตัวป้องกันอาหารไหลกลับเข้าสู่หลอดอาหาร ปกติการบีบรูดในหลอดอาหารมีความเร็วประมาณ 2-6 ซม.ต่อวินาที หรือใช้เวลาประมาณ 10 วินาทีในการกลืนอาหาร

อย่างไรก็ดีการบีบรูดแบบ primary peristalsis ไม่สามารถบีบรูดอาหารได้ทั้งหมด อาหารที่หลงเหลืออยู่ในหลอดอาหารทำให้เกิดการบีบรูดแบบ secondary peristalsis อีกหลายครั้งเพื่อไล่อาหารที่เหลือลงสู่กระเพาะอาหาร

### 3.1.3 กระเพาะอาหาร (Stomach)

กระเพาะอาหาร มีหน้าที่เน้นไปทางด้านการเคลื่อนไหวและการหลั่ง มากกว่าที่จะเป็นการย่อยและดูดซึม หน้าที่สำคัญประกอบด้วย

1) เป็นที่เก็บและรองรับอาหาร ก่อนที่จะส่งเข้าไปในลำไส้เล็ก โดยเฉพาะส่วน fundus และ body จะทำหน้าที่รับอาหารได้ประมาณ 1.5 ลิตร โดยที่ความดันในกระเพาะอาหารเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เรียกว่า **receptive relaxation**

2) คลุกเคล้าอาหารกับน้ำย่อยจนอาหารมีลักษณะกึ่งของเหลว (chyme)

3) ค่อยๆ ปล่อยอาหารเข้าสู่ลำไส้เล็ก ด้วยอัตราที่พอเหมาะในการย่อยและการดูดซึม

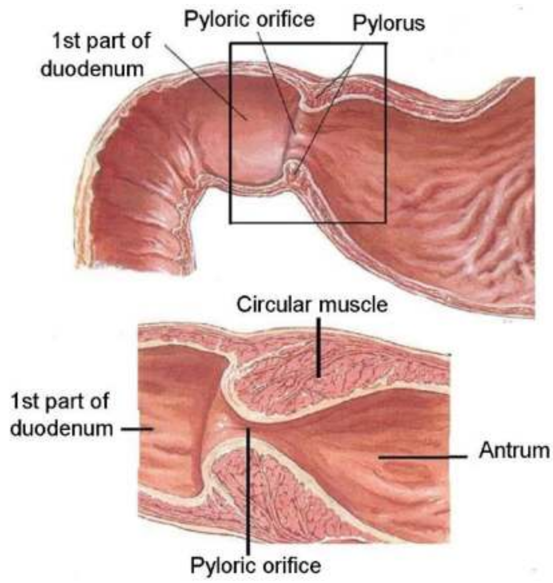
กระเพาะอาหารส่วน fundus และ body จะทำหน้าที่ในการเก็บอาหาร การบีบตัวในส่วนนี้จะมีความรุนแรงไม่มาก แต่ในส่วน antrum จะมีการบีบตัวค่อนข้างรุนแรง ทำให้มีการคลุกเคล้าอาหารกับน้ำย่อย และช่วยบีบไล่อาหารลงสู่ลำไส้เล็ก อาหารที่คลุกเคล้ากับน้ำย่อยในกระเพาะอาหารแล้วมีลักษณะครึ่งแข็งครึ่งเหลวและมีความเป็นกรด เรียกว่า **acid chyme**

**การเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหาร** เป็นการบีบตัวแบบ peristalsis เพื่อคลุกเคล้าอาหารกับน้ำย่อย ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง การบีบตัวแบบนี้ เกิดจากกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า gastric pacemaker ที่กระเพาะอาหารส่วนล่าง

เกิดดีโพลาไรเซชั่น และรีโพลาไรเซชั่น สลับกันไปทุก 20 วินาที และเนื่องจากวงจรโพลาไรเซชั่น และรีโพลาไรเซชั่นนี้เกิดขึ้นแบบต่อเนื่อง จึงเรียกว่า ความต่างศักดิ์แบบจังหวะ basic electrical rhythm (BER)

**กล้ามเนื้อหูรูดไพลอรัส** (Pyloric sphincter) แยกกระเพาะอาหารส่วนแอนทรัมออกจากลำไส้เล็กส่วนต้น มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการเคลื่อนที่ของอาหารจากกระเพาะอาหารเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนต้นด้วยอัตราที่พอเหมาะเพื่อที่จะทำให้ลำไส้เล็กทำการย่อยและดูดซึมอาหารได้อย่างสมบูรณ์และยังช่วยป้องกันอาหารไหลย้อนกลับ เส้นประสาทที่มาควบคุมจะเป็นเส้นประสาทเวกัสและเส้นประสาทซิมพาเธติก

เส้นประสาทซิมพาเธติกจะไปเพิ่มการบีบตัวของกล้ามเนื้อหูรูดไพลอรัส ส่วนเส้นประสาทเวกัสจะมีทั้งที่ไปกระตุ้นและยับยั้งกล้ามเนื้อเรียบของหูรูดไพลอรัส




รูปที่ 9-39 แสดงลักษณะของหูรูดพัยลอรัส

**การควบคุมการเคลื่อนอาหารจากกระเพาะอาหารลงสู่ลำไส้เล็ก** ถูกควบคุมโดยระบบประสาทและฮอร์โมน ดังนี้

1. การมีกรดเข้ามาในลำไส้เล็กส่วนต้น จะทำให้การบีบตัวของกระเพาะอาหารลดลง และไปเพิ่มการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กส่วนต้น โดยจะมีการหลั่งฮอร์โมน secretin ซึ่งมีผลไปยับยั้งการบีบตัวของแอนทรัม และกระตุ้นการหดตัวของหูรูดไพลอรัส

2. การมีผลิตผลของไขมันที่ย่อยแล้ว เข้ามาในลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง จะไปกระตุ้นการหลั่ง CCK มีผลไปลดอัตราการเคลื่อนที่ของอาหารออกจากกระเพาะอาหาร

3. อาหารที่มีความเข้มข้นสูง (hyperosmotic) ไปกระตุ้น osmoreceptor ของเซลล์ไร้ท่อในบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง ทำให้ไปลดการเคลื่อนที่ของอาหารออกจากกระเพาะอาหาร

4. เปปไทด์และกรดอมิโนในอาหาร ไปกระตุ้นตัวรับรู้ทางเคมีของ G cell ในกระเพาะอาหารส่วนแอนทรัมและลำไส้เล็กส่วนต้น ให้หลั่งแกสตรินซึ่งมีผลไปลดอัตราการเคลื่อนของอาหารจากกระเพาะอาหาร

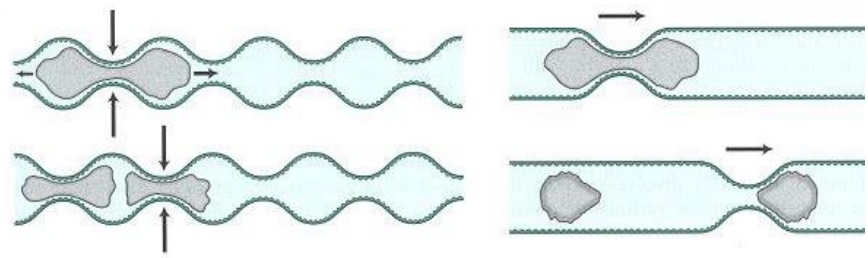
### 3.1.4 ลำไส้เล็ก

การเคลื่อนไหวของลำไส้เล็ก แบ่งออกเป็น 2 แบบ

**1. การบีบตัวแบบเป็นปล้อง (Segmentation)** เป็นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบวงกลมและมีการคลายตัวพร้อมกับบีบที่จุดใหม่ที่อยู่ระหว่างการบีบตัวครั้งที่แล้ว ทำให้อาหารคลุกเคล้าไปมาอยู่กับที่ ลำไส้เล็กส่วนต้นบีบตัวได้ประมาณ 11-12 ครั้งต่อนาที ในขณะที่ลำไส้เล็กส่วนปลายประมาณ 8-9 ครั้งต่อนาที

**2. การบีบตัวแบบบีบเคลื่อน (peristalsis)** การบีบตัวแบบนี้เกิดจาก pack maker ในกล้ามเนื้อเรียบที่เรียงตัวแบบวงกลม การบีบตัวลักษณะนี้เพื่อทำให้อาหารได้คลุกเคล้ากับน้ำย่อยและสัมผัสกับพื้นที่ผิวของชั้นเยื่อเมือกได้มากขึ้น ความแรงในการบีบตัวถูกควบคุมโดยฮอร์โมน ประสาทภายใน และประสาทอัตโนมัติ การบีบตัวแบบเป็นปล้อง (Peristalsis) เป็นการผลักไล่อาหาร ด้วยความเร็ว 0.5 – 2 ซม. ต่อนาที

ฮอร์โมนที่ควบคุมการบีบตัวแบบคลื่นในลำไส้เล็ก ได้แก่ gastrin, CCK, insulin, serotonin ไปเพิ่มการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็ก ในทางตรงข้าม secretin และ glucagon จะยับยั้งการเคลื่อนไหว



ภาพที่ 9-40 แสดงการเคลื่อนไหวของลำไส้แบบ segmentation และ peristalsis

**กล้ามเนื้อหูรูดอิลิโอซีคัล (ileocecal sphincter)** มีหน้าที่หลักคือ ป้องกันไม่ให้กากอาหารหรืออาหารที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้ใหญ่ย้อนกลับเข้าไปในลำไส้เล็กส่วนปลาย โดยมีลิ้น ileocecal valve (IC valve) กั้นอยู่ IC valve นี้เป็น one-way valve ยอมให้กากอาหารผ่านเข้าสู่ cecum ได้ แต่ย้อนทางกลับได้ยาก การทำงานของอิเลียมจะสัมพันธ์กับกระเพาะอาหาร กล่าวคือ เมื่อมีอาหารเข้าสู่กระเพาะอาหารจะเกิดปฏิกริยาตอบสนองอัตโนมัติ **gastroileal reflex** หรือ gastroenteric reflex กระตุ้นการบีบตัวของอิเลียม พร้อมกับมีการคลายตัวของหูรูดนี้ ลิ้น IC valve จะเปิดออก ยอมให้กากครึ่งแข็งครึ่งเหลวประมาณ 500-1,000 มล. ส่งต่อไปยังลำไส้ใหญ่

เมื่อมีกากอาหารลงมาจะทำให้ cecum ยืดขยายออก เมื่อถึงระดับหนึ่งก็จะส่งสัญญาณไปยับยั้งการบีบรูดของลำไส้เล็กส่วนปลาย และไปกระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อหูรูดอิลีโอซีคัล เพื่อไม่ให้กากอาหารลงมากเกินไป ปฏิกริยาตอบสนองอัตโนมัติจาก cecum ไปควบคุมการบีบตัวของลำไส้เล็กส่วนปลายนี้ เรียกว่า **colonoileal reflex** ในทำนองเดียวกันก็มีปฏิกริยาตอบสนองอัตโนมัติที่เรียกว่า **ileogastric reflex** กล่าวคือ เมื่อมีอาหารตกลงมาในบริเวณลำไส้เล็กส่วนปลายก็จะมีการยืดและส่งสัญญาณไปยับยั้งการบีบตัวของกระเพาะอาหารได้

### 3.1.5 การเคลื่อนไหวลำไส้ใหญ่

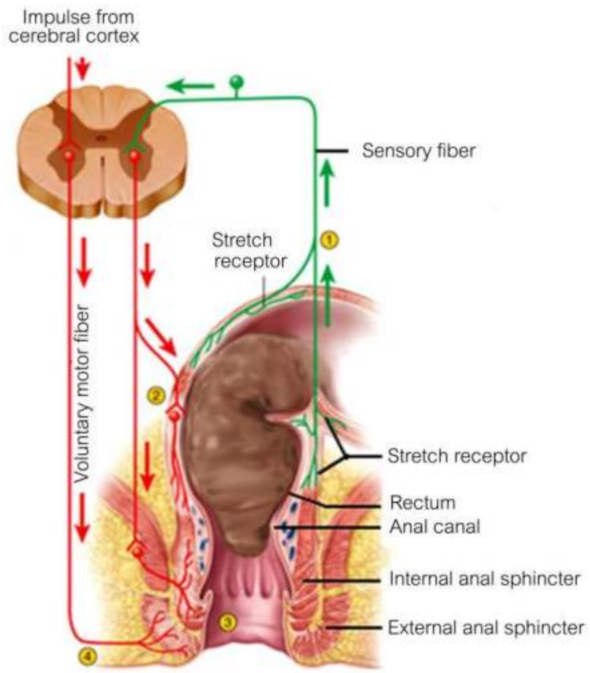
แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

**1. การบีบตัวแบบเป็นปล้อง (haustration)** เป็นการบีบตัวแบบเป็นปล้องเช่นเดียวกับลำไส้เล็ก แต่มีขนาดใหญ่กว่า และมีความถี่ต่ำกว่า ช่วยในการดูดซึมน้ำและเกลือแร่ที่ลำไส้ใหญ่ โดยทำให้อาหารที่เข้ามาสัมผัสกับพื้นที่ผิวของลำไส้ได้มากขึ้น เป็นการบีบตัวร่วมกันของกล้ามเนื้อเรียบที่เรียงตัวแบบวงกลม และที่เรียงตัวตามยาว

**2. การบีบตัวแบบบีบเคลื่อนอย่างแรง (mass movement)** เป็นการผลักไล่กากอาหารไปยังลำไส้ตรง การเคลื่อนไหวแบบนี้เกิดในลำไส้ใหญ่ส่วนขวางและส่วนคด ประมาณ 2-3 ครั้ง/วัน เกิดมากที่สุดใน 1 ชม.หลังรับประทานอาหารเช้า การบีบตัวแบบบีบเคลื่อนอย่างแรง มักเกิดจาก gastrocolic reflex และ duodenocolic reflex ซึ่งเป็นผลจากการยืดขยายของกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนต้น

**การขับถ่ายอุจจาระ** โดยปกติลำไส้ส่วน rectum มักจะว่างไม่มีอุจจาระ เนื่องจากรอยเชื่อมต่อระหว่าง sigmoid และ rectum มีลักษณะเป็นมุมฉากจึงมีแรงต้านเกิดขึ้น เมื่อมีอุจจาระตกลงมาในลำไส้ตรงมากกว่า 25% ของความจุลำไส้ตรง จึงจะทำให้มีกระบวนการถ่ายอุจจาระเกิดขึ้น การขับถ่ายเป็นปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติ พบได้ 2 ชนิด คือ

**1) Intrinsic defecation reflex** เมื่อมีอุจจาระเข้ามาใน rectum จะทำให้ rectum ยืดขยายเป็นการส่งสัญญาณไปทั่วร่างแหประสาท myenteric ทำให้เกิดการบีบตัวแบบบีบเคลื่อนในลำไส้ใหญ่ส่วนล่าง ส่วนคดและไส้ตรง ผลักกากอาหารไปทางช่องทวารหนัก แล้วหูรูดทวารหนักด้านในจะคลายตัว และถ้ากล้ามเนื้อหูรูดทวารหนักส่วนนอก ถูกบังคับให้คลายตัวก็จะเกิดการถ่ายอุจจาระขึ้น แต่เนื่องจาก Intrinsic defecation reflex มีความ แรงน้อยทำให้การขับถ่ายอุจจาระเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์




รูปที่ 9-41 แสดงปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติ การขับถ่ายอุจจาระ

**2) Parasympathetic defecation reflex** เมื่อปลายประสาทที่ไส้ตรงถูกกระตุ้นจะส่งสัญญาณไปที่ไขสันหลัง แล้วสัญญาณจะถูกส่งกลับโดยผ่านทางประสาท Parasympathetic ในเส้นประสาทเพลวิกมายังลำไส้ใหญ่ขาลง ลำไส้ใหญ่ส่วนคด ไส้ตรง และทวารหนักเพื่อไปเพิ่มการบีบตัวแบบบีบเคลื่อน และเพิ่มความแรงให้กับ Intrinsic defecation reflex

อุจจาระ (feces, stool) เป็นกากอาหารที่ถูกขับทิ้ง มีประมาณ 100-200 กรัมต่อวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของอาหาร อาหารที่มีเส้นใย (fiber) มากทำให้มีอุจจาระมาก อุจจาระประกอบด้วยน้ำประมาณ 70% และของแข็ง 25% ซึ่งประกอบด้วยกากใยซึ่งย่อยไม่ได้ เกลือน้ำดี มูก แบคทีเรีย แคลเซียมฟอสเฟต

## 3.2 การหลั่งน้ำย่อย (Gastrointestinal secretion)

### 3.2.1 การหลั่งน้ำลาย (salivary secretion)

น้ำลาย (saliva) หลั่งประมาณวันละ 1-1.5 ลิตร ประกอบด้วยอิเลกโตรลัยท์ต่างๆ เช่นโซเดียม โปตัสเซี่ยม คลอไรด์ และไบคาร์บอเนต เอ็นไซม์ย่อยไขมัน (lingual amylase) เอ็นไซม์ย่อยแป้ง (salivary amylase) และน้ำเมือก มี pH อยู่ระหว่าง 6.0 ถึง 7.4 น้ำลายช่วยทำให้อาหารอ่อนนุ่ม ง่ายต่อการกลืน ในน้ำลายยังมีอิมมูโนโกลบูลินเป็นแอนติบอดี ช่วยทำลายเชื้อโรคในปาก

อัตราการหลั่งน้ำลายปกติเมื่อไม่มีตัวกระตุ้นประมาณ 0.5 มล./นาทีและมีอัตราการหลั่งสูงสุดได้ถึง 7มล./นาที การควบคุมการหลั่งน้ำลายถูกควบคุมโดยศูนย์ควบคุมการหลั่งน้ำลาย (salivary center) ในสมองส่วนเมดัลลา ซึ่งรับสัญญาณประสาทมาจากบริเวณปากและสมองส่วนกลาง

การเคี้ยวอาหารจะกระตุ้นตัวรับรู้ทางกล (mechanoreceptor) ในบริเวณกล้ามเนื้อที่ใช้เคี้ยวอาหาร หรือการได้กลิ่นและรสของอาหารจะมีตัวรับรู้ทางเคมีส่งสัญญาณเข้าสู่ศูนย์ควบคุมการหลั่งน้ำลายโดยตรง ในขณะที่มีปัจจัยบางชนิดมีผลยับยั้งการหลั่งน้ำลาย เช่น ความอ่อนล้า การนอน ความกลัว และมีสภาวะการสูญเสียน้ำในร่างกาย เป็นต้น

ระบบประสาทอัตโนมัติที่มาควบคุมมีทั้ง parasympathetic และ sympathetic แต่ความสามารถในการกระตุ้นของประสาท parasympathetic มีมากกว่า ผลการกระตุ้นประสาท parasympathetic จะทำให้มีการหลั่งน้ำและอิเลกโตรลัยท์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนการกระตุ้นประสาท sympathetic จะทำให้มีการหลั่งเอนไซม์ amylase

### 3.2.2 การหลั่งในหลอดอาหาร

การหลั่งในหลอดอาหาร ส่วนใหญ่เป็นกลัยโคโปรตีน และน้ำเมือก มีหน้าที่หลักในการหล่อลื่นและเคลือบเยื่อบุหลอดอาหาร ป้องกันการทำลายจากอาหารในขณะกลืน และป้องกันกรดจากน้ำย่อยในกระเพาะอาหารไหลกลับขึ้นมา

### 3.2.3 การหลั่งในกระเพาะอาหาร

บริเวณผิวหน้าของชั้นเยื่อเมือกภายในกระเพาะอาหารจะปกคลุมด้วยเยื่อบุผิวซึ่งจะหลั่งน้ำเมือกและด่างเพื่อปกป้องเซลล์เยื่อบุจากน้ำย่อยกระเพาะอาหาร และการเสียดสีที่เกิดจากการเคลื่อนไหวในกระเพาะอาหาร ต่อมต่างๆ จะมีรูเปิดของท่อมาเปิดออกที่ชั้นเยื่อเมือก เรียกว่า gastric pit

ในชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามโครงสร้างของต่อม ดังนี้

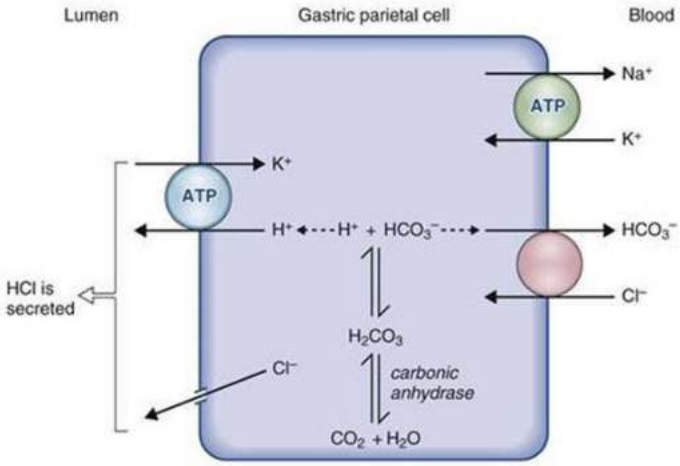
1) Cardiac gland อยู่ใต้กล้ามเนื้อหูรูดหลอดอาหารส่วนล่าง ประกอบด้วยต่อมที่หลั่งเมือก

2) Oxyntic (gastric glands) ประกอบด้วย mucus neck cells ทำหน้าที่หลั่งน้ำเมือก อยู่บริเวณทางเปิดของท่อ ลึกลงไปจะเป็น parietal cells ทำหน้าที่หลั่งกรดเกลือ และสารอินทรินซิค นอกจากนี้ยังพบ chief cells ทำหน้าที่หลั่ง pepsinogen

3) Pyloric glands ส่วนใหญ่หลั่งน้ำเมือกเพื่อปกป้องชั้นเยื่อเมือก และพบ G cells หลั่งฮอร์โมนแกสตริน

**3.2.3.1 การหลั่งกรดเกลือ (Hydrochloric acid, HCl)** ที่เยื่อเซลล์ด้านที่ติดกับโพรงของกระเพาะอาหารของ parietal cells จะมีเอ็นไซม์ $H^+$ -$K^+$ ATPase ทำงานโดยการหลั่ง $H^+$ออกนอกเซลล์ ขณะเดียวกันก็นำ $K^+$ เข้าเซลล์ เป็นการขนส่งแบบใช้พลังงาน ส่วนไบคาร์บอเนตจะถูกขนส่งออกนอกเซลล์ทางด้านล่างและด้านข้าง ตามความลาดเอียงทางไฟฟ้า ขณะเดียวกันคลอไรด์ ถูกขนส่งเข้ามาในเซลล์โดยโปรตีนตัวเดียวกับที่ขนส่ง ไบคาร์บอเนตออกนอกเซลล์ คลอไรด์เคลื่อนเข้าเซลล์ต้านความลาดเอียงทางไฟฟ้าเป็นแบบใช้พลังงาน อาศัยพลังงานที่ได้มาจากการขนส่งไบคาร์บอเนต ซึ่งเรียกว่า $Cl^-/HCO_3^-$ counter transporter และคลอไรด์จะถูกขนส่งออกจากเซลล์ทางด้านที่ติดกับโพรงของกระเพาะอาหารทางช่องคลอไรด์ โดยอาศัยความต่างระดับทางเคมี

Acetylcholine, Histamine และ Gastrin เป็นตัวกระตุ้นให้มีการหลั่งกรดเกลือ ในขณะที่ somatostatin, prostaglandin และ epidermal growth factor จะมีผลในการยับยั้ง




รูปที่ 9-42 กลไกการสร้างและหลั่งกรดเกลือจาก parietal cell ในกระเพาะอาหาร

**3.2.3.2 การหลั่งเปปซิน**

เปปซินจะถูกหลั่งจาก chief cells ของต่อมในกระเพาะอาหาร ในรูปที่ยังไม่สามารถทำงานได้ ชื่อ pepsinogen เมื่อ pepsinogen ถูกหลั่งเข้ามาในโพรงของกระเพาะอาหารถูกทำให้อยู่ในรูปที่สามารถทำงานได้โดยกรดเกลือ เรียกว่า pepsin โดยที่ pepsin จะทำงานได้ดีที่สุดที่ pH 3 หรือต่ำกว่า ส่วนใหญ่ตัวที่กระตุ้น parietal cells ให้หลั่งกรดเกลือ ก็จะกระตุ้น chief cells ให้หลั่ง pepsinogen ด้วย

**3.2.3.3 การหลั่ง Intrinsic factor**

Intrinsic factor (IF) ถูกหลั่งจาก parietal cells และมีความสำคัญต่อการดูดซึมวิตามิน บี 12 ที่ลำไส้เล็กส่วนปลาย

**3.2.3.4 การหลั่งเมือกและไบคาร์บอเนต**

เมือกที่หลั่งจาก mucus neck cells และ surface epithelial cells ของกระเพาะอาหาร ประกอบด้วยไกลโคโปรตีน มีลักษณะหนืดเหนียว การกระตุ้นการหลั่งน้ำเมือกจะคล้ายกับการกระตุ้นการหลั่งกรดเกลือ และเปปซิน

แนวกั้นชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร (gastric mucosal barrier) สารเมือกและสารละลายที่เป็นด่างที่หลั่งออกมาจะช่วยปกคลุมผิวหน้าของชั้นเยื่อเมือกกระเพาะอาหาร เป็นแนวป้องกันการทำลายจากน้ำย่อยอาหาร โดยบริเวณนี้จะมี pH ค่อนข้างเป็นกลาง ในขณะที่โพรงกระเพาะอาหารมี pH ประมาณ 2 ถ้าการหลั่งเมือกและไบคาร์บอเนตลดลง จะมีผลทำให้ผนังของกระเพาะอาหารถูกทำลายโดยกรดและเปปซิน อาจเกิดแผลในกระเพาะอาหาร

**3.2.3.5 การควบคุมการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร** แบ่งออกเป็น 3 ระยะ

**1. ระยะที่อาหารยังไม่ตกถึงกระเพาะอาหาร (Cephalic phase)** เกิดขึ้นก่อนอาหารจะตกถึงกระเพาะอาหาร การมองเห็น การได้กลิ่นอาหาร การชิมรส ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ จะเป็นตัวกระตุ้น โดยไปมีผลต่อประสาทเวกัสให้หลั่ง Ach ไปกระตุ้น parietal cells ให้หลั่งกรดเกลือ นอกจากนี้ Ach ยังไปกระตุ้น G cells ในแอนทรัมและลำไส้เล็กส่วนต้น ทำให้มีการหลั่งกรดเกลือ ในระยะนี้ทำให้มีการหลั่งกรดประมาณ 40 % ของอัตราการหลั่งกรดออกมาทั้งหมด

**2. ระยะที่อาหารอยู่ในกระเพาะอาหาร (Gastric phase)** เกิดเมื่ออาหารตกถึงกระเพาะอาหารส่วนแอนทรัมจะยืดออกมีผลไปกระตุ้นตัวรับรู้ทางกล ทำให้เกิดปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติเฉพาะที่ (local reflex) และปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติเวโกเวกัล (vagovagal reflex) ทำให้มีการหลั่ง Ach ไปกระตุ้นให้มีการหลั่งกรดเกลือจาก parietal cell และกระตุ้น G cell ให้หลั่งแกสตริน

**3. ระยะที่อาหารตกลงมาในลำไส้เล็กส่วนต้น (Intestinal phase)** ช่วงแรกเมื่ออาหารเหลว (chyme) ลงมาถึงลำไส้เล็กส่วนต้น จะกระตุ้นการหลั่งกรดให้มากขึ้น เนื่องจากการยืดขยายของลำไส้เล็กส่วนต้นจะไปกระตุ้นให้มีการหลั่งกรดโดยผ่านปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติเวโกเวกัล ไปกระตุ้น parietal cells และ G cells ส่วนเปปไทด์และกรดอะมิโนจะกระตุ้น G cells ในลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลางให้หลั่ง gastrin

การยับยั้งการหลั่งกรดในช่วงต่อมา การที่มีกรดในลำไส้เล็กส่วนต้นจะไปกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมน secretin ไปยับยั้งการหลั่งกรด โดยไปยับยั้งการหลั่ง gastrin ของ G cells และลดการตอบสนองของ parietal cells ต่อสิ่งที่มากระตุ้น การมีไขมันที่ย่อยแล้วในลำไส้เล็กส่วนต้น ยังทำให้มีการหลั่งฮอร์โมนอีก 2 ชนิด คือ gastric inhibitory peptide และ cholecystokinin ซึ่งไปยับยั้งการหลั่งกรดของ parietal cells

### 3.2.4 การหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน (Pancreatic secretion)

ตับอ่อนเป็นต่อมขนาดใหญ่ทำหน้าที่ทั้งเป็นต่อมมีท่อ และต่อมไร้ท่อ ในส่วนนี้จะได้กล่าวเพียงการหลั่งน้ำย่อยตับอ่อน ส่วนประกอบของน้ำย่อยตับอ่อน ประกอบด้วย

**1. ส่วนประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์** ได้แก่ โซเดียม โปตัสเซี่ยม ไบคาร์บอเนต และคลอไรด์ ในส่วนของคลอไรด์มีความเข้มข้นสูงกว่าในพลาสมา ทำให้น้ำย่อยจากตับอ่อนมีฤทธิ์เป็นด่าง เพื่อช่วยเปลี่ยนอาหารเหลวจากกระเพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด ให้เป็นกลาง

**2. ส่วนประกอบที่เป็นสารอินทรีย์** ได้แก่

**2.1 น้ำย่อยที่ใช้ย่อยโปรตีน** ได้แก่

**2.1.1 ทริปซิน (Trypsin)** ถูกหลั่งในรูป trypsinogen หลังจากนั้น trypsinogen จะถูกเปลี่ยนเป็น trypsin โดยเอ็นไซม์ enteropeptidase หรือ enterokinase

**2.1.2 ไคโมทริปซิน (Chymotrypsin)** จะหลั่งออกมาในรูป chymotrypsinogen และถูกเปลี่ยนเป็นไคโมทริปซิน โดยทริปซิน

**2.1.3 คาร์บอกซี่เพปทิเดส (Carboxypeptidase)** หลั่งออกมาในรูป procarboxypeptidase และถูกเปลี่ยนเป็น carboxypeptidase โดยทริปซิน

**2.2 น้ำย่อยที่ใช้ย่อยคาร์โบไฮเดรท** ได้แก่ alpha amylase จะย่อยแป้ง กลัยโคเจน และคาร์โบไฮเดรท (ยกเว้นเซลลูโลส) ให้เป็น oligosaccharide

**2.3 น้ำย่อยที่ใช้ย่อยไขมัน** ได้แก่ lipase, cholesterol ester hydrolase, phospholipase A2

**การควบคุมการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน**

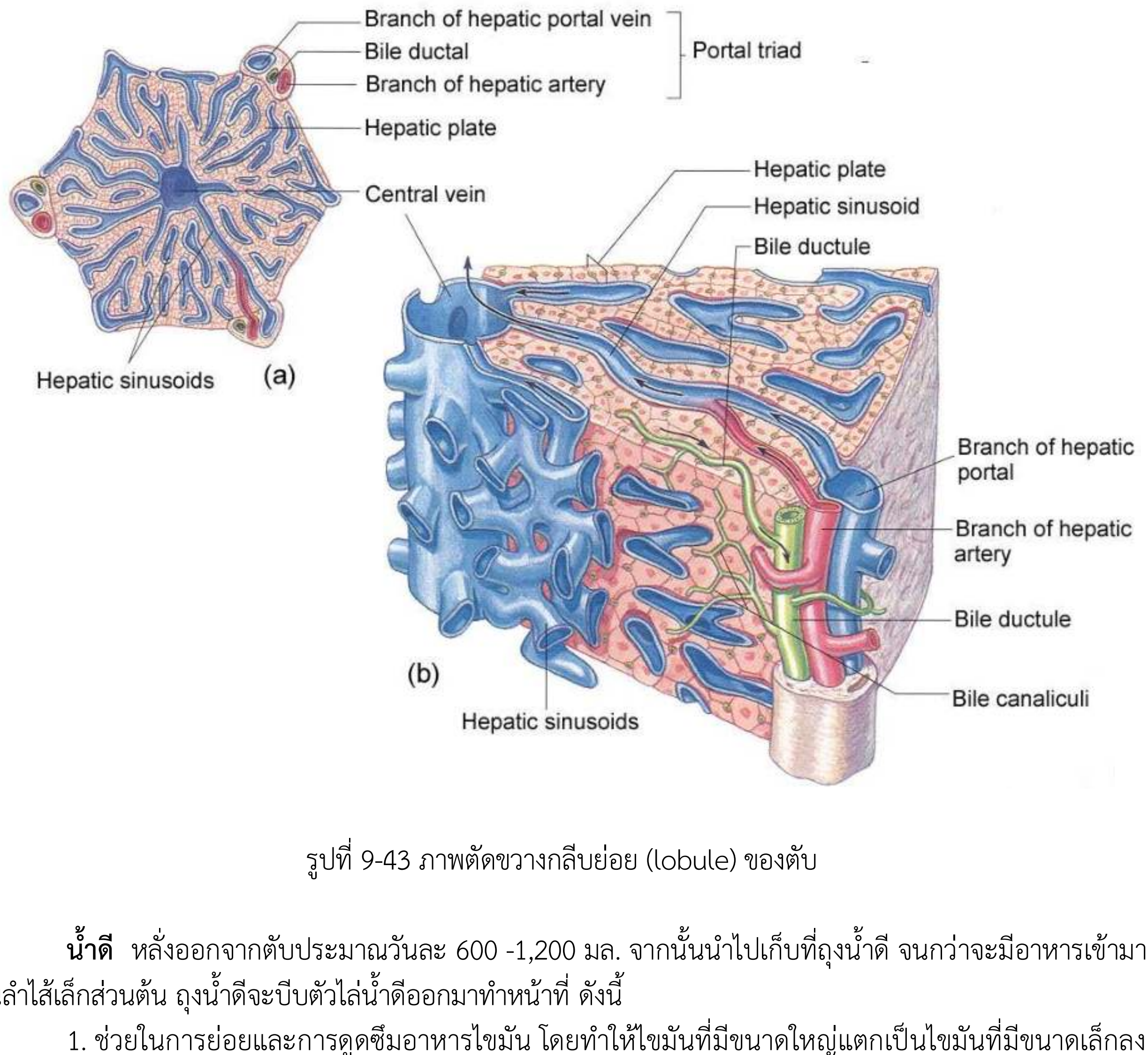
1. ระยะที่อาหารยังตกไม่ถึงกระเพาะอาหาร การได้กลิ่น การมองเห็น การเคี้ยวอาหาร จะกระตุ้นประสาทเวกัสที่ไปยังตับอ่อนให้หลั่งน้ำย่อยอาหารส่วนที่เป็นน้ำย่อยอาหารเป็นส่วนใหญ่ และกระตุ้น G cells ของกระเพาะอาหารให้หลั่ง gastrin ไปเพิ่มการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน

2. ระยะที่อาหารอยู่ในกระเพาะอาหาร การยืดของกระเพาะอาหารจะมีผลกระตุ้นประสาทเวกัสที่ไปยังตับอ่อนให้เพิ่มการหลั่งน้ำย่อย เรียกว่า gastropancreatic reflex

3. ระยะที่อาหารอยู่ในลำไส้เล็ก ในระยะนี้ฮอร์โมน secretin จาก S cells และ cholecystokinin จาก I cells จะเป็นตัวกระตุ้นการหลั่งน้ำย่อย

### 3.2.5 การหลั่งน้ำดีจากตับ (Bile secretion)

น้ำดีที่ผลิตจะถูกหลั่งออกจากเซลล์ตับเข้าสู่ bile canaliculi แล้วไหลไปรวมกันที่ท่อน้ำดี (hepatic duct) ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา และออกจากตับทางท่อนำน้ำดีจากตับ (common hepatic duct) ท่อนำน้ำดีจากตับจะไปรวมกับท่อนำน้ำดีจากถุงน้ำดี (cystic duct) เป็นท่อนำน้ำดีรวมใหญ่ (common bile duct) ไปยังลำไส้เล็กส่วนต้น และท่อนำน้ำย่อยจากตับอ่อน (pancreatic duct) จะไปเปิดออกที่ลำไส้เล็กส่วนต้นที่บริเวณ ampulla of Vater ซึ่งมีกล้ามเนื้อหูรูด sphincter of Oddi ทำหน้าที่ควบคุมการปิด เปิดของท่อ




รูปที่ 9-43 ภาพตัดขวางกลีบย่อย (lobule) ของตับ

**น้ำดี** หลั่งออกจากตับประมาณวันละ 600 -1,200 มล. จากนั้นนำไปเก็บที่ถุงน้ำดี จนกว่าจะมีอาหารเข้ามาในลำไส้เล็กส่วนต้น ถุงน้ำดีจะบีบตัวไล่น้ำดีออกมาทำหน้าที่ ดังนี้

1. ช่วยในการย่อยและการดูดซึมอาหารไขมัน โดยทำให้ไขมันที่มีขนาดใหญ่แตกเป็นไขมันที่มีขนาดเล็กลง เรียกว่า **emulsification** เพื่อให้น้ำย่อยไลเปสจากตับอ่อนเข้าไปย่อยได้ง่ายขึ้น

2. ช่วยขับของเสียออกจากเลือด รวมทั้งบิลิรูบิน ที่เกิดจากการสลายตัวของฮีโมโกลบิน และโคเลสเตอรอลที่สร้างจากเซลล์ของตับมากเกินไปต้องขับออกทางน้ำดี

**ถุงน้ำดี** น้ำดีเมื่อถูกหลั่งจากเซลล์ของตับ จะถูกนำมาเก็บไว้ที่ถุงน้ำดี จนถึงเวลาที่ต้องใช้ ถุงน้ำดีของคนมีขนาดเล็ก มีความจุประมาณ 15-60 มล. ถุงน้ำดีจะทำให้น้ำดีมีความเข้มข้นมากขึ้น โดยการดูดซึมโซเดียมคลอไรด์ ไบคาร์บอเนตและน้ำ ผ่านชั้นเยื่อเมือกของถุงน้ำดี ในขณะที่เกลือน้ำดี โคเลสเตอรอล เลกซิติน และบิลิรูบิน จะไม่ถูกดูดซึม ทำให้น้ำดีมีความเข้มข้นมากขึ้นประมาณ 5-20 เท่า

**การควบคุมการบีบตัวของถุงน้ำดี**

ในระยะ cephalic และ gastric phase ประสาทเวกัสและฮอร์โมนแกสตริน จะไปทำให้ถุงน้ำดีบีบตัวและกล้ามเนื้อหูรูดคลายตัว การขับน้ำดีออกจากถุงน้ำดีจะเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วที่สุดในระยะ intestinal โดยฮอร์โมน cholecystokinin จะเป็นตัวกระตุ้นที่ดีในการบีบตัวของถุงน้ำดี และทำให้กล้ามเนื้อหูรูด Oddi คลายตัว เมื่อมีอาหารเข้ามาในลำไส้เล็ก โดยเฉพาะอาหารไขมัน

**กรดน้ำดี (Bile acid)** กรดน้ำดี เลกซิติน สารสีในน้ำดีและโปรตีนถูกหลั่งออกจากเซลล์ตับ โดนที่กรดน้ำถูกสร้างจาก โคเลสเตอรอลภายในเซลล์ตับ กรดน้ำดีที่ถูกสร้างที่ตับ เรียกว่า กรดน้ำดีปฐมภูมิ (primary bile acid) ได้แก่ cholic, deoxycholic ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี

กรดน้ำดีบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดน้ำดีทุติยภูมิ (primary bile acid) โดยแบคทีเรียในทางเดินอาหาร นอกจากนี้กรดน้ำดีจะไปจับกับไกลซีน และทอรีน ทำให้ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่กรดน้ำดีจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม จึงเรียกว่าเกลือน้ำดี (bile salt)

**สารสีน้ำดี (Bile pigment)** เกิดจากเม็ดเลือดแดงที่มีอายุมาก ประมาณ 120 วัน จะถูกทำลายในระบบ RE system ส่วนของพอพัยริน (porphyrin) ของฮีโมโกลบิน จะถูกเปลี่ยนเป็นบิลิรูบิน เมื่อถูกหลั่งออกมาในกระแสเลือด จะไปจับกับอัลบูมิน เซลล์ตับจะทำหน้าที่แยกบิลิรูบินออกจากเลือด นำไปจับกับ glucuronic acid ได้เป็น bilirubin glucoronide และถูกขับออกไปกับน้ำดี ทำให้น้ำดีเป็นสีเหลือง

### 3.2.6 การหลั่งในลำไส้

ชั้นเยื่อเมือกของลำไส้ตั้งแต่ลำไส้เล็กส่วนต้นจนถึงลำไส้ตรง จะหลั่งน้ำคัดหลั่งที่ประกอบด้วยน้ำเมือก อิเลกโตรลัยท์และน้ำ ประมาณ 1,500 มล./วัน มีหน้าที่ป้องกันชั้นเยื่อเมือกจากการเคลื่อนไหวของอาหาร น้ำคัดหลั่งที่หลั่งออกมาในแต่ละส่วนของลำไส้จะมีลักษณะ คุณสมบัติและกลไกการควบคุมการหลั่งที่แตกต่างกัน

น้ำคัดหลั่งจากลำไส้เล็กส่วนต้น ในชั้นใต้เยื่อเมือกของลำไส้เล็กส่วนต้นจะมีต่อมที่หลั่งน้ำคัดหลั่งที่เป็นน้ำเมือกเป็นส่วนใหญ่

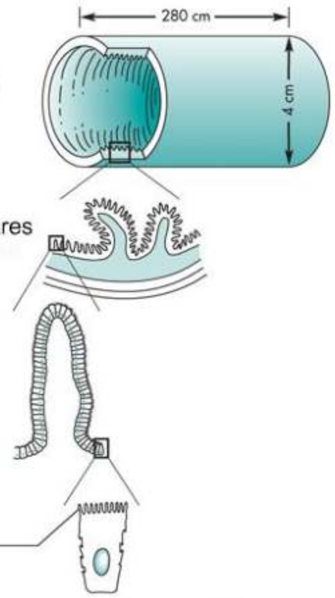
น้ำคัดหลั่งจากลำไส้ใหญ่ส่วนโคลอน ปริมาตรของน้ำคัดหลั่งที่หลั่งออกมาในลำไส้ใหญ่จะมีปริมาตรน้อยกว่าที่หลั่งจากลำไส้เล็ก แต่จะมีน้ำเมือกมากกว่า น้ำเมือกถูกสร้างจาก goblet cells ในชั้นเยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่ น้ำคัดหลั่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปตัสเซี่ยม และไบคาร์บอเนต และการหลั่งถูกกระตุ้นโดยการระคายเคืองของชั้นเยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่ และการกระตุ้นเส้นประสาทโคลิเนอจิก ส่วนการกระตุ้นเส้นประสาท sympathetic จะเป็นการยับยั้งการหลั่งสารคัดหลั่ง

## 3.3 การย่อยและการดูดซึม (Digestion and Absorption)

### 3.3.1 พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซึมอาหารของลำไส้เล็ก

บริเวณชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กจะมีลักษณะยื่นออกมาคล้ายนิ้วมือ เรียกว่าวิลไล villi (villi = pleural, villus = singular) ในคนพบประมาณ 20-40 villi/ตร.มม.

ในแต่ละ villi ประกอบด้วยหลอดเลือดฝอย และหลอดน้ำเหลืองตรงกลาง เรียกว่า **lacteal tube** เซลล์ที่ปกคลุม villi เรียกว่า เซลล์เยื่อบุ และพบว่าด้านบนสุดของเซลล์เยื่อบุจะมีส่วนยื่นเล็กๆ ของผนังเซลล์ยื่นออกไปเป็นจำนวนมาก เรียกว่า microvilli บริเวณ microvilli ของเซลล์เยื่อบุของลำไส้เล็กทั้งหมด เรียกว่า **ผนังบรัชบอร์เดอร์ (brush border)** ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ลำไส้เล็กมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นถึง 600 เท่า บริเวณผนังของ brush border นี้จะมีน้ำย่อยที่ช่วยในการย่อยอาหารพวก disaccharidase, peptidase, nuclease




| โครงสร้าง | การเพิ่มพื้นที่ผิว | พื้นที่ผิว (ตร.ซม.) |
|---|---|---|
| Small bowel | 1 | 3300 |
| Plica circulares | 3 | 10,000 |
| Villi | 30 | 100,000 |
| Microvilli | 600 | 2,000,000 |

รูปที่ 9-44 แสดงการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยและดูดซึม

### 3.3.2 การย่อยและดูดซึมคาร์โบไฮเดรท

คาร์โบไฮเดรทในอาหารเป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย แป้งในพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูป starch จะเป็นแอมิโลเพคติน (amylopectin) แอมิโลส (amylose) และเซลลูโลส (cellulose)

การย่อยอาหารจำพวกแป้งจะเริ่มต้นที่ปากโดยน้ำย่อย amylase จากน้ำลาย จะย่อยพันธะอัลฟา 1,4 ด้านในของแป้ง แต่ไม่สามารถย่อยพันธะอัลฟา 1,4 ทางด้านปลาย และพันธะอัลฟา 1, 6 ได้ น้ำย่อย amylase จะช่วยย่อยอาหารพวกแป้งได้เป็น maltose, maltotriose และ $\alpha$-limited dextrin แต่เนื่องจากระยะเวลาที่อาหารอยู่ในปากสั้นมาก ทำให้การย่อยเกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อย

เมื่ออาหารตกลงมาถึงกระเพาะอาหาร ความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร จะไปยับยั้งการทำงานของน้ำย่อย amylase ในน้ำลาย เมื่ออาหารถึงลำไส้เล็กส่วนต้น น้ำย่อย amylase จากตับอ่อนจะย่อยแป้งได้ maltose, maltotriose และ $\alpha$-1,4 malto-oligosaccharide และ $\alpha$- limited dextrin จากนั้น oligo saccharide จะถูกย่อยต่อด้วย oligosaccharidase ที่ผนัง brush border ของเซลล์เยื่อบุที่ผนังลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง ดังนี้

=> Lactase ย่อย lactose ได้ glucose + galactose

=> Sucrase ย่อย sucrose ได้ glucose + fructose

=> $\alpha$- limited dextrinase ย่อย $\alpha$- limited dextrin

=> Glucoamylase ย่อย malto-oligosaccharide ได้ glucose

**การดูดซึมคาร์โบไฮเดรท**

โมโนแซคคาไรด์จะดูดซึมได้มากที่สุดที่ลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนต้นของลำไส้เล็กส่วนกลาง การดูดซึมโมโนแซคคาไรด์แต่ละชนิดจะมีวิธีการที่แตกต่างกัน

**การดูดซึมกลูโคส**

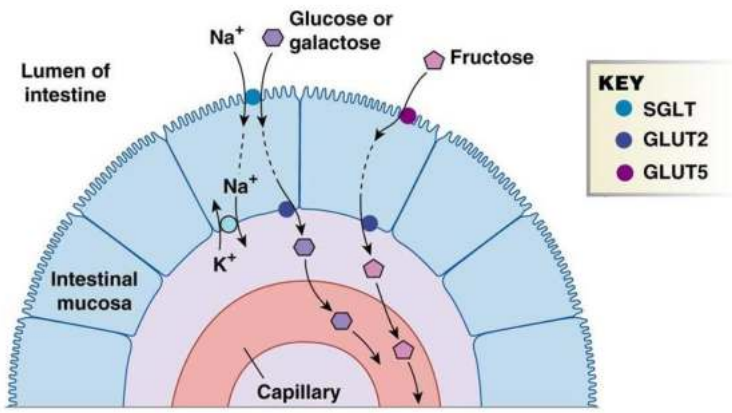
กลูโคสจะถูกดูดซึมแบบใช้พลังงานทุติยภูมิ และอาศัยโซเดียม กลไกการดูดซึมนี้อาศัยโปรตีนตัวพาที่อยู่ในเยื่อเซลล์ที่ผนัง brush border ของเซลล์เยื่อบุในลำไส้เล็ก โดยกลูโคสและโซเดียมจะจับกับตัวพาในอัตราส่วน 1:2 แล้วอาศัยความเข้มข้นของโซเดียมภายนอกเซลล์ที่สูงกว่าภายในเซลล์ เคลื่อนเข้ามาภายในเซลล์ จึงเรียกตัวพานี้ว่าตัวพากลูโคสที่พึ่งพาโซเดียม (sodium-dependent glucose transporter : SGLT1) เมื่อตัวพามาถึงส่วนในของเยื่อเซลล์ ความสามารถในการจับกับกลูโคสและโซเดียมจะลดลง ทั้งกลูโคสและโซเดียมจะถูกปล่อยออกจากตัวพา กลูโคสจะเคลื่อนออกจากเซลล์ทางผนังด้านล่างและด้านข้าง โดยอาศัยตัวพากลูโคสที่ไม่พึ่งพาโซเดียม (sodium-independent glucose transporter หรือ glucose transporter 2 : GLUT2) ส่วนโซเดียมออกจากเซลล์และเปลี่ยนกับโปตัสเซี่ยม

**การดูดซึมกาแลกโทส**

ใช้กระบวนการเดียวกับกลูโคส โดยใช้ตัวพาตัวเดียวกันกับกลูโคส ถ้าความเข้มข้นของกลูโคสและกาแลกโทสเท่าๆ กัน การดูดซึมกลูโคสจะเร็วกว่ากาแลกโทส

**การดูดซึมฟรุกโทส**

ใช้วิธีการแพร่โดยอาศัยตัวพาหมายเลข 5 (glucose transporter 5 : GLUT5) ซึ่งไม่ขึ้นกับโซเดียม ฟรุกโทสจะออกจากเซลล์ทางผนังด้านล่างและด้านข้างโดยการแพร่ซึ่งใช้ตัวขนส่งเดียวกับกลูโคส (GLUT2)




รูปที่ 9-45 แสดงการดูดซึมกลูโคส กาแลกโทส ฟรุกโทส

**Lactose intolerance** ในทวีปเอเชียและแอฟริกา จะพบคนที่มีเอ็นไซม์ lactase ต่ำ ทำให้การย่อย lactose เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ มีผลทำให้แลกโตสที่ไม่ถูกย่อยจะส่งไปที่ลำไส้ใหญ่ แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะเปลี่ยนแลกโตสให้อยู่ในรูปกรดแลกติกและมีแก๊ส $CO_2$ ทำให้ไปเพิ่มการเคลื่อนไหวลำไส้ใหญ่และเกิดอาการท้องเสีย ถ้าเป็นในทารกแรกเกิด เรียกว่า congenital lactose intolerance

### 3.3.3 การย่อยและการดูดซึมโปรตีน

เปปซินในกระเพาะอาหารย่อยโปรตีนได้ประมาณ 15% ของอาหารโปรตีน ได้เป็น peptide ขนาดเล็กและกรดอะมิโน การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็ก เอ็นไซม์ proteases ในน้ำย่อยจากตับอ่อน จะมีความสำคัญมากในการย่อยโปรตีน proteases ที่สำคัญ ได้แก่ ทริปซิน (trypsin) ไคโมทริปซิน (chymotrypsin) คาร์บอกซีเพปทิเดส เอ และ บี (carboxypeptidase A และ B) และอีลาสเทส (elastase) เอ็นไซม์เหล่านี้จะทำการย่อยโปรตีนออกเป็น peptide ขนาดเล็ก

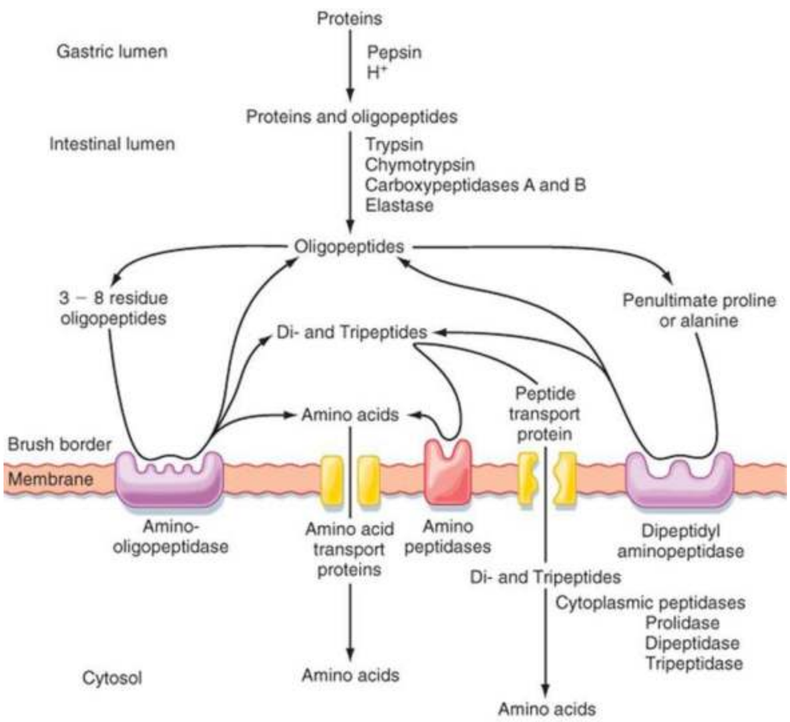
ที่ brush border ของเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้นๆของลำไส้เล็กส่วนกลางมีเอ็นไซม์ peptidase ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในเยื่อเซลล์ สามารถย่อยทางด้าน N-terminal ของ peptide ได้กรดอมิโน, เอ็นไซม์ dipeptidase ย่อย dipeptide ได้กรดอมิโน และ dipeptidyl aminopeptidase ย่อยด้าน N-terminal ของ peptide ได้ peptide

การย่อยอาหารโปรตีนโดยน้ำย่อยจากตับอ่อนและ peptidase ที่ผนัง brush border จะได้ peptide ขนาดเล็ก (ส่วนใหญ่เป็น dipeptide, tripeptide, tetrapeptide และกรดอะมิโน) ซึ่งจะเคลื่อนผ่านผนัง brush border ของเซลล์เยื่อบุเข้ามาภายในเซลล์ และ peptide ที่ถูกดูดซึมเข้ามาภายในเซลล์ จะถูกย่อยต่อโดยเอ็นไซม์ peptidase ที่อยู่ในไซโตพลาสซึม

การดูดซึม peptide ในบริเวณ brush border เป็นแบบอาศัยตัวพา และไม่ขึ้นกับโซเดียม แต่ต้องอาศัย $H^+$ จึงเรียกตัวพานี้ว่า ตัวพา peptide ที่อาศัย $H^+$ ($H^+$-peptide transporter) โดยที่ $H^+$ และ peptide จะจับกับตัวพาในอัตราส่วน 2:1

**การดูดซึม peptide และ กรดอะมิโน**

dipeptide และ tripeptide ดูดซึมได้ดีที่ลำไส้เล็กส่วนกลาง และเมื่อผ่านเข้าเซลล์จะถูกย่อยต่อจนได้กรดอมิโน สำหรับกรดอมิโนจะดูดซึมได้ดีที่ลำไส้เล็กส่วนปลาย เป็นระบบการขนส่งกรดอมิโนโดยเฉพาะ




รูปที่ 9-46 แสดงการย่อยและการดูดซึมโปรตีน

**การดูดซึมไขมัน**

ไขมันในอาหารส่วนใหญ่อยู่ในรูป triglyceride, cholesterol, cholesterol ester และ phospholipid เอ็นไซม์ gastric lipase ในกระเพาะอาหารย่อยไขมันได้ดีในภาวะกรด ส่วน lingual lipase จากน้ำลาย ทำงานได้น้อย

**การย่อยในลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง**

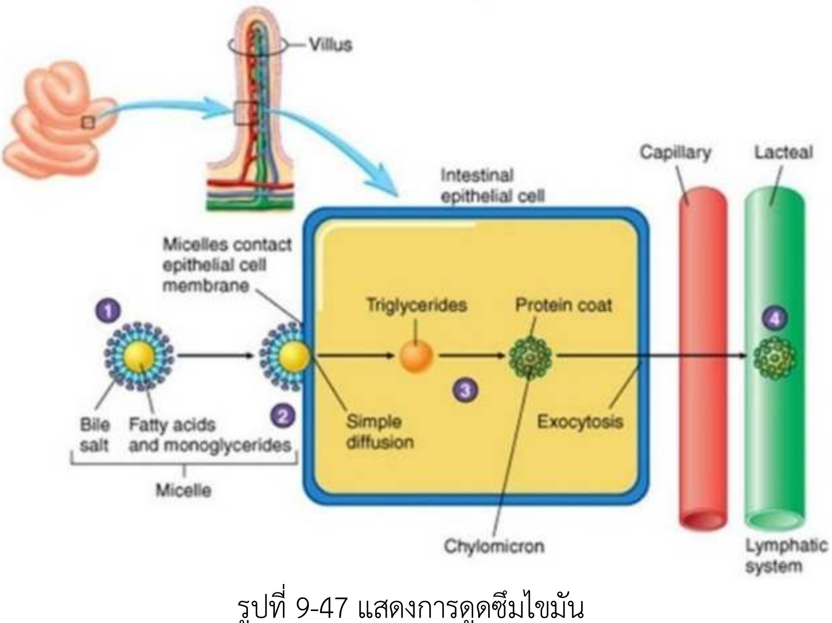
=> **Lipase** จากตับอ่อน ย่อยได้เฉพาะผิวหน้าของไขมัน ดังนั้นจึงต้องอาศัยน้ำดี ทำให้ไขมันแตกตัวเป็นไขมันหยดเล็กๆ (emulsification) ก่อน แล้วไลเปสจึงเข้าไปย่อยไขมัน

=> **Glycerol ester hydrolase** ย่อยไขมันได้กรดไขมัน 2 ตัวและ 2-monoglyceride 1 ตัว ในการย่อยนี้ต้องอาศัย colipase ซึ่งเป็นโปรตีนในน้ำย่อยจากตับอ่อนมาช่วยทำให้ glycerol ester hydrolase จับกับผิวหน้าของไขมัน ซึ่งเป็นหยดไขมันเล็กๆ ที่มีกรดน้ำดีเกาะอยู่

=> **Cholesterol esterase** ย่อยโคเลสเตอรอล ได้กรดไขมัน 1 ตัว และ โคเลสเตอรอลอิสระ

**การรวมตัวเป็นไมเซลล์** เกลือน้ำดีมีลักษณะทางโครงสร้างทางเคมีที่ละลายน้ำ (hydrophilic) และไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) ดังนั้น เมื่อเกลือน้ำดีทำให้ไขมันขนาดใหญ่ กระจายเป็นไขมันขนาดเล็กลงแล้ว น้ำย่อยไลเปสจากตับอ่อนจะย่อยไขมันขนาดเล็กได้เป็นโมโนกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ เกลือน้ำดีจะรวมตัวกับไขมันที่ย่อยแล้วเป็นหยดไขมันเล็กๆ เรียกว่า ไมเซลล์ (micelles) โดยไขมัน(กรดไขมันและโคเลสเตอรอล) จะอยู่ตรงกลาง (เป็นส่วนที่เป็น hydrophobic) ส่วนฟอสโฟลิปิดและโมโนกลีเซอไรด์จะเรียงตัวโดยหันด้าน hydrophilic ออก และเอาส่วน hydrophobic ซึ่งเป็นส่วนหางอยู่ตรงกลาง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ไขมันละลายอยู่ในน้ำได้ และสะดวกต่อการขนถ่ายไขมันมายัง brush border ของลำไส้เล็ก

**การดูดซึมไขมัน** เกิดขึ้นได้ดีที่ลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง เมื่อกรดไขมัน 2-โมโนกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิปิด และโคเลสเตอรอล ดูดซึมผ่านผนัง brush border เข้ามาในเซลล์ จะถูกนำไปที่ smooth endoplasmic reticulum แล้วถูกสร้างเป็นไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิปิด โคเลสเตอรอลเอสเตอ ซึ่งไขมันเหล่านี้จะรวมตัวกับ lipoprotein เป็นไคโลไมครอน (chylomicron) จากนั้น chylomicron จะผ่านออกจากเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กโดยวิธี exocytosis แล้วเข้าสู่ท่อน้ำเหลือง lacteal tube แล้วผ่านไปยังท่อน้ำเหลืองออกเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดดำ




รูปที่ 9-47 แสดงการดูดซึมไขมัน

## การดูดซึมน้ำและอิเล็กโตรลัยท์

### การดูดซึมน้ำ

น้ำจะดูดซึมที่บริเวณลำไส้เล็กประมาณ 800 มล.วัน ที่ลำไส้เล็กส่วนกลางมากกว่าส่วนปลาย และดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่ประมาณ 400 มล./วัน เหลืออีกประมาณ 100 มล. จะถูกขับทิ้งไปกับอุจจาระ การดูดซึมน้ำจะขึ้นอยู่กับการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสและกรดอะมิโน รวมทั้งการดูดซึมโซเดียมและคลอไรด์ด้วย

### การดูดซึมโซเดียม

โซเดียมจะดูดซึมตลอดลำไส้เล็ก โซเดียมแพร่เข้าสู่เซลล์ผนังบุลำไส้ตามความลาดเอียงเชิงไฟฟ้า และออกจากเซลล์ทางเยื่อเซลล์ด้านล่างและด้านข้าง โดยการขนส่งแบบใช้พลังงาน การดูดซึมมากที่สุดที่ลำไส้เล็กส่วนกลาง การดูดซึมโซเดียมมีความสำคัญมากต่อการดูดซึมกลูโคส กาแลกโตส และกรดอะมิโน ที่ลำไส้ใหญ่โซเดียมจะดูดซึมแบบต้านความลาดเอียงเชิงไฟฟ้า เนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมที่ลำไส้ใหญ่ค่อนข้างต่ำ

### การดูดซึมคลอไรด์และไบคาร์บอเนต

คลอไรด์และไบคาร์บอเนตจะดูดซึมที่ส่วนปลายของลำไส้เล็กส่วนกลาง ในขณะที่มีการดูดซึมคลอไรด์ จะมีการหลั่งไบคาร์บอเนต

### การดูดซึมวิตามินวิตามินบี 12

ส่วนใหญ่วิตามินบี 12 ที่อยู่ในอาหารจะจับกับโปรตีน เมื่อเข้ามาในกระเพาะอาหารจะถูกเอ็นไซม์เปปซินย่อยโปรตีนออกจากวิตามินบี 12 และวิตามินบี 12 จะเข้าไปจับกับโปรตีนตัวใหม่คือ R- protein ซึ่งโปรตีนชนิดนี้พบในน้ำลายและน้ำย่อยกระเพาะอาหาร เมื่อวิตามินบี 12 ที่จับกับ R- protein เข้ามาในลำไส้จะถูกน้ำย่อยโปรทิเอส จากตับอ่อนย่อย R- protein ออกจากวิตามินบี 12 จากนั้นวิตามินบี 12 จะไปจับกับ intrinsic factor

ที่ผนังบรัชบอร์เดอร์ของลำไส้เล็กส่วนปลาย จะมีตัวรับที่จับกับสารประกอบ วิตามินบี 12 - intrinsic factor แล้วนำสารประกอบนี้ผ่านเซลล์ดูดซึมโดยวิธี endocytosis จากนั้น lysozyme จะทำการย่อยสาร ประกอบนี้ออกจากกัน วิตามินบี 12 ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในหลอดเลือดดำปอร์ตัล จะกับโปรตีน ชื่อ cobalamine 2

การขาดวิตามินบี 12 จะทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงเจริญเติบโตช้า เกิดโรคโลหิตจางชนิดรุนแรง เรียกว่า pernicious anemia

### การดูดซึมวิตามินที่ละลายในไขมัน

วิตามิน เอ อี ดี เค ส่วนหนึ่งจะรวมกับไมเซลล์ ที่ประกอบด้วยเกลือน้ำดีและไขมันที่ถูกย่อยแล้ว เมื่อเข้ามาในเซลล์เยื่อบุก็จะรวมตัวกับไคโลไมครอนแล้วออกจากเซลล์ทางท่อน้ำเหลือง

### การดูดซึมแคลเซี่ยม

เกิดได้ตลอดความยาวลำไส้เล็ก ในส่วนลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลางจะเป็นการดูดซึมแบบใช้พลังงาน แคลเซี่ยมจะถูกดูดซึมตามความลาดเอียงเชิงไฟฟ้าเคมี ผ่านช่องทางแคลเซี่ยม ที่ผนังของบรัชบอร์เดอร์ มีโปรตีนเรียกว่า Intestinal membrane calcium-bonding protein (IMcal) จับกับแคลเซี่ยมที่บริเวณด้านในของผนังบรัชบอร์เดอร์

ภายในไซโตซอลของเซลล์ลำไส้เล็ก จะมีโปรตีนที่จับกับแคลเซี่ยม เรียกว่า แคลบินดิน (calbidin) ระดับแคลบินดินนี้มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซึมแคลเซี่ยม

ที่บริเวณเยื่อเซลล์ด้านล่างและด้านข้างจะมีโปรตีนที่ทำหน้าที่ขนส่งแคลเซี่ยมออกจากเซลล์ ตามความลาดเอียงเชิงไฟฟ้าเคมี โดยแคลเซี่ยมเอทีพีเอส ($Ca^{++}$ - ATPase) และโดยการแลกเปลี่ยนไอออน/แคลเซี่ยมไอออน ($Na^{+}/Ca^{++}$) รวมทั้งภายในเซลล์ยังมีถุง (vesicle) สามารถบรรจุแคลเซี่ยมแล้วน้ำแคลเซี่ยมออกจากเซลล์ด้วยวิธี exocytosis

**การดูดซึมเหล็ก**

เกิดที่ลำไส้เล็กส่วนต้น ที่ผนังบรัชบอร์เดอร์ จะมีโปรตีนขนส่งไปจับกับเฟอรัส ($Fe^{2+}$) ในกระแสเลือด แล้วขนส่งเข้ามาในเซลล์เยื่อบุ ส่วนเหล็กที่อยู่ในรูปเฟอริก ($Fe^{3+}$) จะไม่ถูกขนส่งเข้ามาในเซลล์ ภายในเซลล์เฟอรัสจะไปจับกับโปรตีนโมบิลเฟอริน (Mobilferrin) แล้วเคลื่อนผ่านไซโตซอลไปที่ผนังเซลล์ด้านล่างและด้านข้าง ที่ผนังเซลล์นี้จะมีตัวรับทรานส์เฟอริน (Transferrin receptor) ซึ่งจะทำหน้าที่กับทรานส์เฟอรินในพลาสมา ตัวรับทรานส์เฟอรินจะทำหน้าที่รับเฟอรัส จากโมบิลเฟอรินในไซโตซอล แล้วขนส่งออกที่ด้านหน้าของผนังเซลล์ แล้วสาร $Fe^{2+}$ – Transferrin ก็จะแพร่เข้าสู่กระแสเลือด

การดูดซึมเหล็กในรูปของฮีม (Heme) เอ็นไซม์ proteolytic จะย่อยฮีมออกจากโปรตีน แล้วฮีมจะถูกดูดซึมแบบเร่งรัด ที่เซลล์เยื่อบุของลำไส้เล็กส่วนต้น ภายในเซลล์เหล็กจะถูกแยกออกจากฮีมโดยกระบวนการ heme oxygenase แล้วฮีมจะถูกขนส่งเข้าไปในหลอดเลือดปอร์ตัล

**การดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่**

การดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่ จะเกิดที่ส่วนต้นของลำไส้ใหญ่ จึงเรียกส่วนต้นของลำไส้ใหญ่ว่า **Absorbing colon** ส่วนท้ายของลำไส้ใหญ่จะทำหน้าที่เก็บการอาหาร จึงเรียกว่า **Storage colon**

ชั้นเยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่จะคล้ายกับลำไส้เล็ก จะมีการดูดซึมโซเดียมและคลอไรด์ น้ำจะถูกดูดซึมตามเข้าในเซลล์ด้วย นอกจากนี้ชั้นเยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่จะหลั่งไบคาร์บอเนตเข้ามาในโพรงลำไส้ โดยการแลกเปลี่ยนกับคลอไรด์ ไบคาร์บอเนตนี้จะช่วยทำให้กรดที่เกิดจากแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่เป็นกลาง ลำไส้ใหญ่สามารถดูดซึมสารละลายและอิเล็กโตรลัยท์สูงสุด 5-7 ลิตร/วัน

*******************************************

เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วีไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**
**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**
**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบปัสสาวะ
(Introduction to Anatomy and Physiology)

**จำนวนชั่วโมง** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับคำที่ใช้ในการศึกษากายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบปัสสาวะ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกชื่ออวัยวะในระบบขับถ่ายปัสสาวะได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายกายวิภาคของไตได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของท่อไตได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของกระเพาะปัสสาวะได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายกระบวนการกรองที่ glomerulus ได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายกระบวนการดูดซึมกลับที่ท่อไตได้อย่างถูกต้อง
7. กระบวนการขับออกที่ท่อไตได้อย่างถูกต้อง
8. บอกส่วนประกอบของน้ำปัสสาวะปกติได้อย่างถูกต้อง
9. อธิบายการกระจายตัวของน้ำหรือของเหลวในร่างกายได้อย่างถูกต้อง
10. อธิบายการควบคุมสมดุลน้ำในร่างกายได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายการควบคุมสมดุลกรด-ด่างในร่างกายได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

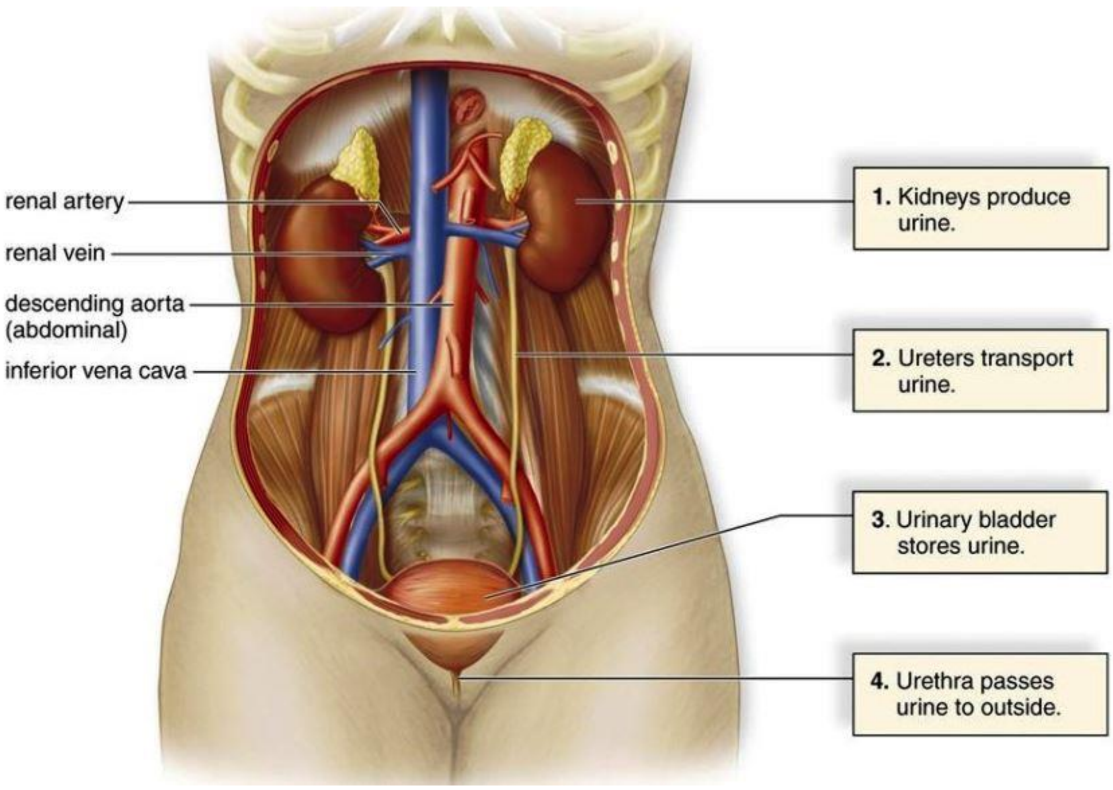
1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# บทที่ 10
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบปัสสาวะ
# (Anatomy and Physiology of Urinary system)

พ.จ.ท.นิพนธ์ นวลสนิท




ระบบขับถ่ายปัสสาวะ (Urinary system) เป็นระบบที่ประกอบด้วยอวัยวะหลายอย่างทำหน้าที่ร่วมกันในการทำน้ำปัสสาวะเก็บน้ำปัสสาวะชั่วคราวและขับน้ำปัสสาวะออกทิ้งเพื่อเป็นการรักษาสภาวะสมดุลของสิ่งแวดล้อมภายในร่างกาย

อวัยวะในระบบขับถ่ายปัสสาวะที่สำคัญ ได้แก่

1. ไต (Kidneys) เป็นอวัยวะสำคัญที่สุดของระบบนี้เป็นที่กรองเอาน้ำและของเสียออกจากโลหิตเป็นน้ำปัสสาวะ

2. หลอดไต (Ureters) นำน้ำปัสสาวะออกจากไตไปสู่กระเพาะปัสสาวะ

3. กระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder) เป็นที่เก็บน้ำปัสสาวะไว้ชั่วคราวเมื่อได้จำนวนที่พอเหมาะจึงหดตัวบีบขับน้ำปัสสาวะไปสู่หลอดปัสสาวะ (Urethra)

4. หลอดปัสสาวะ (Urethra) เป็นทางผ่านของน้ำปัสสาวะจากกระเพาะปัสสาวะไปสู่ภายนอกร่างกาย

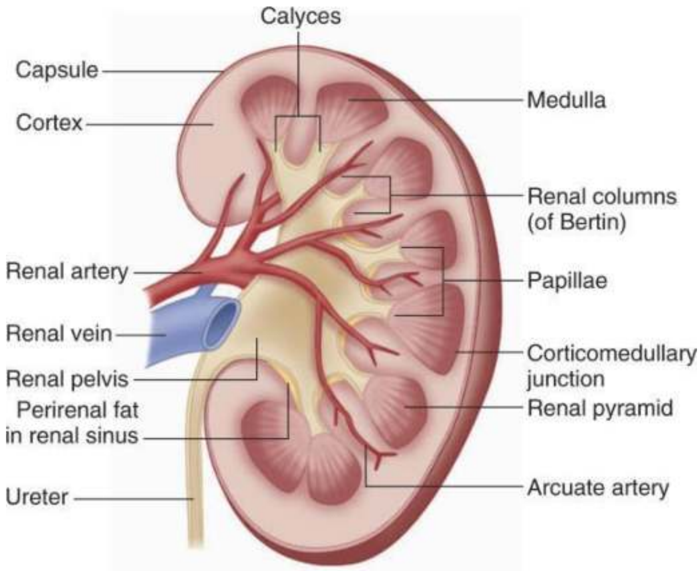
ไต (THE KIDNEY) ไตเป็นอวัยวะที่กรองของเสียจากปฏิกิริยาการเผาผลาญในร่างกายและน้ำส่วนเกินเพื่อกำจัดออกทางปัสสาวะ รวมทั้งเป็นอวัยวะที่สำคัญในการควบคุมความเข้มข้นของเกลือแร่ของของเหลวในเนื้อเยื่อทั่วร่างกาย นอกจากนี้ไตยังทำหน้าที่เป็นต่อมไร้ท่ออีกด้วยโดยสร้างและหลั่งฮอร์โมน erythropoietin เข้าไปในเลือดเพื่อกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดง, ฮอร์โมน renin ทำหน้าที่ควบคุมความดันโลหิตและ 1,25

hydroxycholecalciferal หรือวิตามิน D ซึ่งมีผลในการควบคุมสมดุลของ calcium ในเลือดและตามอวัยวะต่างๆ

ไตมี 2 ข้างในสภาวะสดมีสีน้ำตาลแดง วางตัวอยู่ในท้องทางด้านหลัง แต่ละอันวางขนานอยู่ทางด้านข้างของกระดูกสันหลังโดยอยู่หลังเยื่อบุช่องท้อง (retroperitoneal organ) ถูกหุ้มภายนอกโดยแผ่นเนื้อเยื่อไขมัน ขั้วบนของไตอยู่ตรงกับระดับขอบบนของกระดูกสันหลังส่วนอกอันที่สิบสอง ขั้วล่างจะไม่เลยลงไปต่ำกว่ากระดูกสันหลังส่วนเอวอันที่สาม ไตข้างขวามักอยู่ในระดับต่ำกว่าไตข้างซ้ายเนื่องจากอยู่ใต้ตับและถูกตับเบียดลงมา ไตข้างซ้ายมีรูปร่างยาวและเล็กกว่าไตข้างขวาเล็กน้อยและอยู่ใกล้กับแนวกลางตัวมากกว่า แนวแกนตามยาวของไตแต่ละข้างจะชี้ลงล่างและชี้ออกทางด้านนอก แนวแกนตามขวางชี้ไปทางด้านข้างค่อนไปทางด้านหลัง ไตแต่ละข้างมีขนาดยาว 11 ซม. กว้าง 6 ซม. และหนา 3 ซม. ในเพศชายที่โตเต็มที่น้ำหนักของไตแต่ละข้างจะหนักประมาณ 150 กรัม ในเพศหญิงที่อยู่ในช่วงอายุเดียวกันน้ำหนักของไตจะหนักน้อยกว่าคือประมาณ 135 กรัม ในคนที่ผอมและหน้าท้องไม่หนานัก ขอบล่างของไตอาจคลำได้ในขณะที่ผู้นั้นหายใจเข้าอย่างเต็มที่โดยการคลำด้วยมือทั้ง 2 ข้างจากทางด้านหน้าและด้านหลังเอวใต้ชายโครงซึ่งในคนปกติโดยทั่วไปแล้วจะคลำไม่ได้

ไตมีรูปร่างคล้ายเม็ดถั่วโดยขอบด้านที่อยู่ห่างจากแนวกลางตัวจะโค้งนูน ส่วนขอบด้านที่อยู่ใกล้แนวกลางตัวจะเว้าเข้าสู่ขั้วไต ขั้วไต (hilum) คือ รอยแยกลึกในแนวตั้งเปิดเข้าสู่ด้านในค่อนไปทางด้านหน้าของไตเป็นบริเวณที่หลอดเลือดของไต (renal vessels) เส้นประสาทและกรวยไต (renal pelvis) บรรจุความสัมพันธ์ของโครงสร้างหลักที่ขั้วไตเป็นเครื่องหมายช่วยให้ทราบได้ว่าไตที่ตัดออกมาเป็นข้างซ้ายหรือข้างขวาคือ renal vein อยู่หน้าสุด renal artery อยู่ตรงกลางและกรวยไตอยู่ทางด้านหลังอาจพบแขนงหนึ่งของ renal artery เข้าสู่ขั้วไตทางด้านหลังต่อกรวยไตได้ เหนือขั้วไตขอบด้านในของไตจะอยู่ใต้ต่อมหมวกไต (suprarenal gland) และขอบด้านในใต้ขั้วไตจะมีส่วนเริ่มต้นของหลอดไตทอดขนานลงไป

ขั้วไตจะเปิดเข้าไปสู่ช่องกลางไต เรียกว่า renal sinus ภายในมีกรวยไตและหลอดเลือดของไตบรรจุอยู่ กรวยไตเมื่อพ้นออกไปนอกขั้วไตจะเรียวลงค่อยๆกลายเป็นหลอดไตภายใน renal sinus กรวยไตจะแยกออกเป็น 2 หรือ 3 แขนงใหญ่ซึ่งเรียกว่า major calyces แต่ละแขนงใหญ่นี้จะแบ่งออกเป็นแขนงย่อยซึ่งเรียกว่า minor calyces ทำให้เกิดมี 7 ถึง 13 minor calyces ในไตแต่ละข้าง calyx แต่ละอันจะบานออกเมื่อจ่อเข้ากับผนังของ renal sinus และส่วนที่บานออกนี้เองที่จะสวมเข้ากับตุ่มนูนที่ยื่นออกมาจากเนื้อไตเรียกว่า renal papillae



ไตและหลอดเลือดของไตฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน เรียกว่า ไขมันรอบไต (perirenal fat) ซึ่งมีความหนาที่สุดที่ขอบของไตและยื่นผ่านขั้วไตเข้าไปถึงใน renal sinus พังผืดที่หุ้มรอบ perirenal fat และไตมีลักษณะหนาและเหนียวเรียกว่าเยื่อหุ้มไตหรือ renal fascia

ขณะอยู่ในครรภ์ไตจะมีผิวเป็นก้อนนูน 12 ก้อน แต่ในผู้ใหญ่ที่โตเต็มที่แล้วก้อนเหล่านี้จะรวมกันเข้ากลายเป็นผิวเรียบแม้ว่าภายในยังคงแบ่งออกเป็นส่วนย่อยตามเดิมอยู่ก็ตาม

**ลักษณะโดยทั่วไปของไต**

ผิวนอกของไตถูกคลุมด้วยถุงหุ้มบาง (renal capsule) ซึ่งลอกออกจากเนื้อไตได้ง่ายเมื่อผ่าไตออกเป็น 2 ซีกจะพบว่าเนื้อไตมีลักษณะแตกต่างกัน 2 ส่วนคือ

renal medulla เป็นก้อนซีดลายรูปกรวยเรียกว่า renal pyramids ส่วนฐานชี้ไปทางเปลือกนอกในขณะที่ยอดชี้เข้าหา renal sinus และยื่นเลยเข้าไปใน minor calyces กลายเป็น renal papillae ในแต่ละ pyramids จะมีท่อส่วนปลายของหน่วยไตมาเปิดสู่ papillae มีประมาณ 116 ถึง 776 ท่อ

renal cortex เป็นส่วนที่อยู่ใต้ถุงหุ้มไต คลุมอยู่เหนือฐานของ renal pyramids และมีบางส่วนแทรกตัวลงไประหว่าง renal pyramids แต่ละอันที่อยู่ติดกันไปจนถึงผนังของ renal sinus ส่วนที่แทรกอยู่ระหว่าง renal pyramids นี้เรียกว่า renal columns เนื้อไตที่อยู่ระหว่างฐานของ renal pyramids แต่ละอันกับถุงหุ้มไตเรียกว่า cortical lobules ถ้าใช้เลนส์ขยายส่องดูชั้นของไตที่อยู่เหนือฐานของ renal pyramids จะเห็นเป็นเส้นแผ่ออกจากฐานของ renal pyramids เข้าไปใน cortical lobules ไปทางถุงหุ้มไตแล้วเล็กลงจนจางหายไปเรียกว่า medullary rays

**จุลกายวิภาคของไต (MICROSCOPIC ANATOMY OF THE KIDNEY)**

เนื้อไตประกอบด้วยหน่วยเล็กที่สุดที่ทำหน้าที่ในการกรองเลือด เรียกว่า nephron ของเหลวที่ถูกกรองออกมาจากเลือดจะผ่านไปตามท่อของ nephron ซึ่งในระหว่างนั้นจะมีการขับสารที่ร่างกายไม่ต้องการหรือมีมากเกินความจำเป็นออกไปในขณะเดียวกันก็มีการดูดซึมสิ่งที่มีประโยชน์แก่ร่างกายกลับเข้าสู่เลือด nephron ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนคือ

1. renal tubule
2. glomerulus

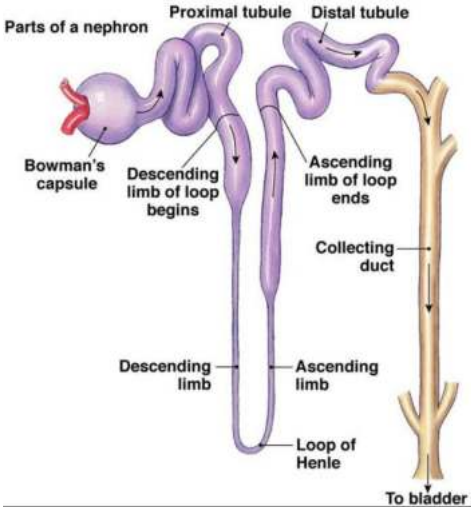
1. renal tubule เป็นท่อที่ทำหน้าที่สร้างน้ำปัสสาวะ ประกอบด้วยส่วนย่อย 4 ส่วนคือ

1.1 glomerular (Bowman's) capsule เป็นกระเปาะกลมรูปถ้วยอยู่บริเวณส่วนต้นของ nephron ประกอบด้วยผนัง 2 ชั้น บุด้วย simple squamous epithelium ด้านหนึ่งเว้าภายในบรรจุกลุ่มของหลอดเลือดฝอยที่เรียกว่า glomerulus อีกด้านหนึ่งต่อกับ proximal tubule ส่วนของ glomerular capsule ที่ห่อหุ้ม glomerulus ไว้ภายในเรียกรวมกันว่า renal corpuscle ส่วนใหญ่จะพบ renal corpuscle อยู่กระจัดกระจายทั่วไปในส่วน cortex ของเนื้อไต

1.2 proximal tubule เป็นท่อที่ต่อมาจาก glomerular capsule ประกอบด้วยส่วนที่คดเคี้ยวเรียกว่า convoluted tubule และส่วนที่ตรงเรียกว่า straight tubule ท่อนี้บุด้วย simple cuboidal epithelium

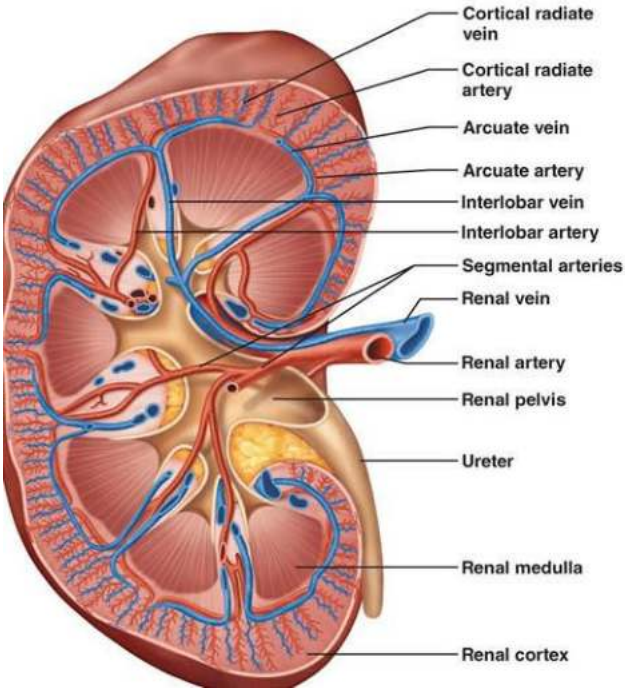
1.3 loop of Henle เป็นท่อบางตรงหักมุมวกกลับ 180 องศาเป็นรูปอักษร U บุด้วย simple squamous epithelium โดยเชื่อม proximal tubule กับ distal tubule พบในเนื้อไตส่วน medulla

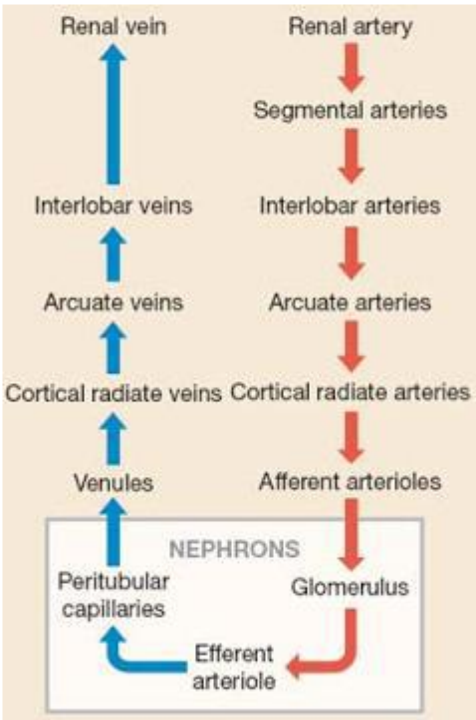
1.4 distal tubule มีลักษณะเหมือนกับ proximal tubule ท่อนี้นำน้ำปัสสาวะที่สร้างเสร็จแล้วเข้าสู่ collecting tubule




2. glomerulus เป็นกลุ่มของหลอดเลือดฝอยที่นำเลือดจากส่วนต่างๆของร่างกายเข้ามากรองที่ nephron หลอดเลือดที่เข้าและออกจาก glomerulus เรียกว่า afferent และ efferent arterioles ตามลำดับ น้ำปัสสาวะที่สร้างจาก nephron จะไหลผ่าน distal tubule เข้าสู่ collecting tubule โดย collecting tubule หลาย ๆ อันจะรวมกันเป็น papillary duct เปิดเข้าสู่ minor calyx บริเวณ renal papillae เรียก nephron รวมกับ collecting tubule ว่า uriniferous tubule

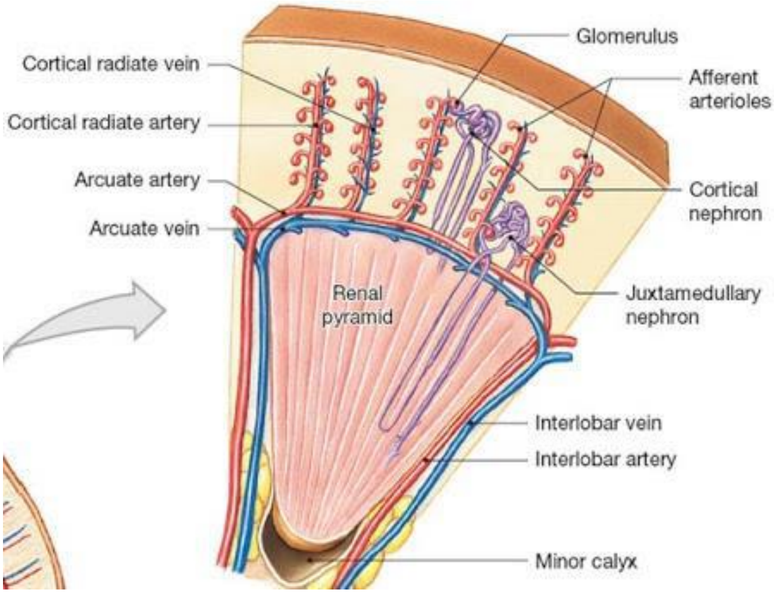
**หลอดเลือดและเส้นประสาทที่มาเลี้ยงไต**

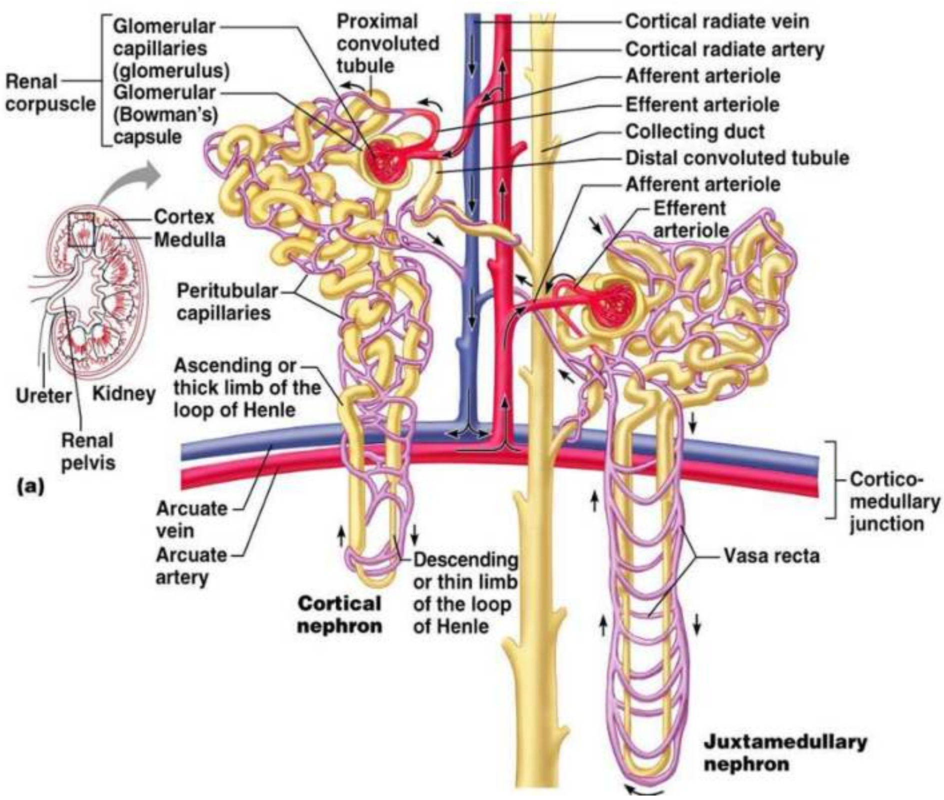



ไตแต่ละข้างได้รับเลือดมาเลี้ยงผ่านทาง renal artery ซึ่งเป็นแขนงของ abdominal aorta หลอดเลือดนี้ผ่านเข้าไตบริเวณขั้วไต (hilum) เมื่อเข้าสู่เนื้อไตจะแตกแขนงเป็น segmental arteries ไปเลี้ยงส่วนต่างๆของ

ไตจากนั้นจะแตกแขนงให้เป็น interlobar arteries อยู่ใน renal column เมื่อถึงบริเวณรอยต่อของ cortex กับ medulla interlobar arteries จะแตกแขนงให้เป็น arcuate arteries ทอดไปตามส่วนฐานของ renal pyramid ให้แขนงย่อยเรียกว่า interlobular arteries เข้าสู่ส่วน cortex ของเนื้อไตจากนั้นจะแตกแขนงเป็น afferent arterioles เข้าสู่ renal corpuscle กลายเป็น glomerulus เลือดที่ผ่านการกรองแล้วจะไหลออกจาก glomerulus ทาง efferent arterioles ซึ่งจะนำเลือดผ่านไปสู่ peritubular capillaries (vasa recta) ที่อยู่รอบ loop of Henle จากนั้นเลือดจะผ่านเข้าสู่ระบบหลอดเลือดดำ interlobular, arcuate interlobar, segmental และ renal veins ตามลำดับ เลือดดำจาก renal vein จะกลับสู่หัวใจโดยเทเข้า inferior vena cava



เส้นประสาทที่มาเลี้ยงไตเป็นแขนงมาจาก renal plexus ซึ่งเป็นระบบประสาทอัตโนมัติซิมพาเตติก (sympathetic) เข้าสู่ไตโดยมาร่วมกับ renal arteries แล้วแตกแขนงไปตามหลอดเลือดภายในไต เส้นประสาทนี้ควบคุมการหดตัวของหลอดเลือด ดังนั้นจึงควบคุมระบบไหลเวียนของเลือดภายในไตโดยการปรับขนาดของ arterioles

**หน้าที่ทั่ว ๆ ไปของไต**

1. เซลล์ปัสสาวะ (Formation of urine)

เซลล์ต่างๆจะผลิตของเสีย (Waste products) จากการสลายตัวของสารอาหารหรือเนื้อเยื่อตลอดเวลา ของเสียเหล่านี้เป็นอันตรายต่อการทำงานของเซลล์จึงจำเป็นต้องขับออกนอกร่างกายของเสียนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1.1 ก๊าซที่สำคัญคือ $CO_2$ ถูกขับออกทางลมหายใจออก

1.2 Solid ซึ่งละลายอยู่ในของเหลวภายในร่างกายโดยเฉพาะในเลือด เช่น urea, uric acid, creatinine เป็นต้น ของเสียเหล่านี้จะถูกขับออกจากร่างกายทางไต โดยออกมากับปัสสาวะ

2. ควบคุมความสมดุลของน้ำ (Water balance หรือ Water homeostasis) โดยทำหน้าที่ขับน้ำและ Sodium chlorine ที่เกินความจำเป็นแก่ร่างกายให้ออกจากร่างกาย

3. ควบคุมความสมดุลของสารพวกเกลือแร่ต่างๆ (Electrolyte balance)

ในคนปกติปริมาณของเกลือแร่ต่างๆในร่างกายมีค่าค่อนข้างจะคงที่เกลือแร่ที่สำคัญคือ $Na^+$, $K^+$, $Ca^+$, $HCO_3^-$, $Cl_2$, $SO_4$ ถ้าความเข้มข้นของเกลือแร่เปลี่ยนแปลงไปไตจะทำหน้าที่ขับส่วนที่เกินทิ้งไปหรือถ้าร่างกายขาดแคลนไตจะทำหน้าที่เก็บเกลือแร่เหล่านี้เอาไว้

4. ควบคุมสมดุลของความเป็นกรด-ด่าง (Acid-base regulation)

ในสภาวะปกติร่างกายของเราจะสร้างกรดออกมาตลอดเวลาดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องขับกรดออกไปโดยไตซึ่งจะทำหน้าที่ร่วมกับกลไกอื่น ๆ

เซลล์ทุกเซลล์จะทำหน้าที่ได้ตามปกติเมื่อร่างกายมี ph 7.4 (7.35-7.45) ถ้า ph ต่ำลง (acidosis) หรือสูงขึ้น (alkalosis) การทำงานของเซลล์ต่างๆจะเสียไป

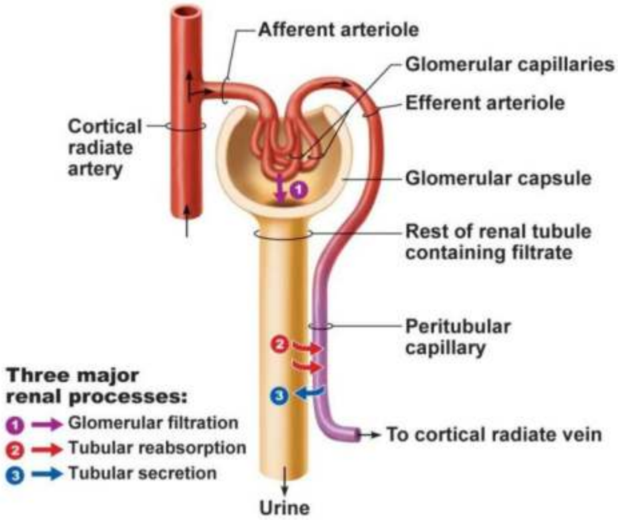
5. สร้างและหลั่งฮอร์โมนบางชนิด เช่น Erythropoietin ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ไปกระตุ้นไขกระดูกให้สร้างเม็ดเลือดแดง (RBC) ออกสู่กระแสเลือดเพิ่มขึ้น

6. ทำลายสารพิษ (Detoxification) ถ้าร่างกายได้รับสารพิษเข้าไป สารบางอย่างจะถูกเปลี่ยนสภาพให้เป็นสารที่ไม่มีพิษได้โดยไต

**การทำงานของไต**

หน้าที่หลักของไตคือการกรองเอาของเสียที่ร่างกายไม่ต้องการออกมาเป็นปัสสาวะและเพื่อไม่ให้น้ำและสารที่จำเป็นออกจากร่างกาย ร่างกายจึงมีวิธีดูดซึมสารต่าง ๆ กลับอีกครั้งหนึ่ง กระบวนการสร้างปัสสาวะของไต (Urine formation) เริ่มต้นจากเลือดแดงที่ไหลเข้าสู่ไตแล้วส่วนหนึ่งของ plasma จะกรองผ่าน Glomerular membrane เข้าสู่ Bowman's space และไหลผ่านลงมาตามท่อไตส่วนต่าง ๆ ท่อไตจะทำหน้าที่ดูดซึมสารต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์กลับเข้าสู่ร่างกายและขับสารที่ไม่ต้องการทิ้งไปในปัสสาวะ รวมทั้งเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบต่าง ๆ ของปัสสาวะให้เหมาะสมสุดท้ายจะกลายเป็นปัสสาวะไหลจาก collecting duct เข้าสู่กรวยไตและท่อนำปัสสาวะเพื่อนำไปเก็บไว้ในกระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder) สรุปแล้วกระบวนการสร้างปัสสาวะจะมีอยู่ 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ

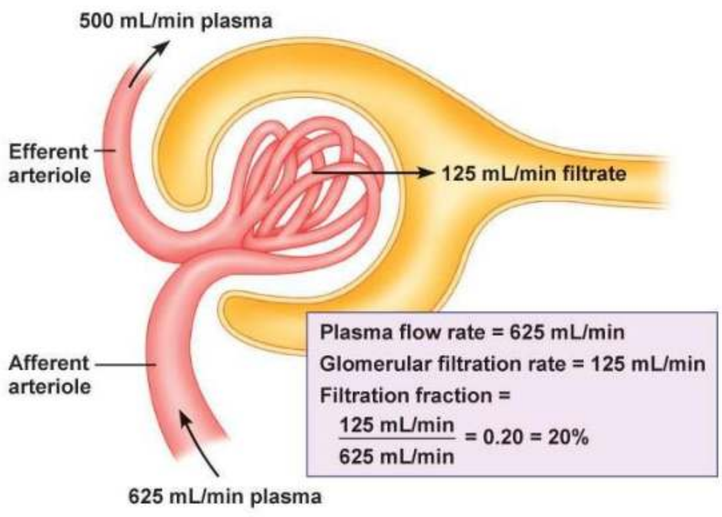
1. กระบวนการกรองที่ glomerulus เรียกว่า Glomerular filtration
2. กระบวนการดูดซึมกลับที่ท่อไตเรียกว่า Tubular reabsorption
3. กระบวนการขับออกที่ท่อไตเรียกว่า Tubular secretion




**กระบวนการกรองที่ Glomerulus (Glomerular filtration)**

เป็นกลไกที่ Plasma กรองผ่าน Glomerular membrane เป็นการกรองแบบธรรมดา Simple filtration เพื่อแยกสิ่งไม่เป็นประโยชน์ออกจากเลือด เกิดขึ้นที่ Bowman's capsule เนื่องจากการกรองนี้เกิดขึ้นโดยผ่านรูเล็ก ๆ ที่ผนัง (membrane) ของ Glomerulus นี้มีคุณสมบัติให้น้ำและสารละลายผ่านได้ แต่ไม่ยอมให้ Plasma protein ผ่านออกไปได้กระบวนการกรองจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งสำคัญที่จะก่อให้เกิดการกรองได้คือความดันเลือดที่ Glomerulus ที่เรียกว่า Glomerular pressure (ความดันที่อยู่ใน glomerular capillaries ซึ่งได้มาจากการบีบตัวของหัวใจ) ซึ่งมีค่าประมาณ 80-90 mmHg ค่านี้สูงกว่าความดันที่อยู่ในเส้นเลือดฝอยทั่วไปประมาณ 2 เท่า Glomerular pressure นี้มีความสำคัญมากเพราะเป็นความดันที่จะช่วยให้ plasma ถูกดันผ่านรูของ Glomerulus ลงมาใน Bowman's space ซึ่งเป็นกระบวนการขั้นตอนของการสร้างน้ำปัสสาวะที่ได้จากการกรองที่ Glomerulus เรียกว่า Glomerular filtrate หรือ Capsular urine ส่วนประกอบของ Glomerular filtrate ประกอบด้วยน้ำ (93-94%) และสารประกอบอื่น ๆ ที่เหมือนกับใน plasma เช่น vitamin, hormone, glucose, amino acids, electrolytes, urea, uric acid, creatinine เป็นต้น แต่ไม่มีโปรตีนหรือมีน้อยมากจนถือว่าไม่มีเลยเพราะรูของ Glomerular membrane ไม่ยอมให้เม็ดเลือดและ plasma proteins ผ่านออกมาได้ ดังนั้นเราจะไม่สามารถตรวจพบเลือดและโปรตีนในปัสสาวะของคนปกติได้เลย

อัตราการกรองของ Plasma ออกจาก Glomeruli ของไตทั้งสองข้างเรียกว่า Glomerular filtration rate GFR) มีหน่วยเป็น ลบ. ซม./นาที หรือ ml/min ค่า GFR ในคนปกติมีค่าประมาณ 125 ml/min หรือเราอาจกล่าวได้ว่า GFR หมายถึงจำนวนของ plasma หรือ fluid ที่กรองผ่าน glomeruli ของของไตทั้ง 2 ข้างต่อเวลา 1 นาที มีหน่วยเป็น ml ต่อนาที ค่าเฉลี่ย 125 ml/min หรือ 180 ลิตร/วัน




**(b)** Glomerular filtration rate and filtration fraction

ดังนั้นใน 1 วันจะมีเลือดมาไหลเวียนที่ไตและ ไตจะกรองน้ำออกมาประมาณ 180 ลิตรใน 24 ชม. แต่ไตจะทำหน้าที่ปล่อย filtrate ออกมาในปัสสาวะเพียงวันละ 1-1.5 ลิตรเท่านั้น ส่วนที่เหลือประมาณ 99% ของ filtrate ทั้งหมดไตจะเก็บและนำกลับเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดเพื่อให้ร่างกายใช้ต่อไปโดยกระบวนการดูดซึมกลับที่ท่อไต (Tubular reabsorption)

**กระบวนการดูดซึมกลับที่ท่อไต (Tubular reabsorption)**

ส่วนของ Renal tubules เป็นส่วนที่ดูดซึมเอาน้ำและสารบางอย่างที่ร่างกายต้องการกลับคืนสู่กระแสเลือด การดูดซึมกลับนี้มีอยู่ 2 วิธีคือ

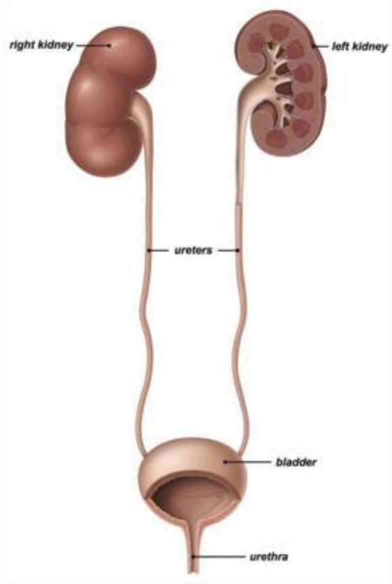
1. Active reabsorption เป็นการดูดซึมของเหลวผ่านเข้าไปใน Tubular epithelial cells แล้วจะฟุ้งกระจายเข้าไปในเส้นเลือดฝอยสารที่ดูดซึมกลับโดยวิธีนี้ ได้แก่ สารพวก glucose, amino acids, protein, uric acid จะถูกดูดซึมกลับบริเวณ Proximal convoluted tubule เกือบทั้งหมดพวก glucose, amino acid และ protein จะถูกดูดซึมเข้าไปใน tubule หมดไม่เหลือปนออกมากับปัสสาวะนอกจากการผิดปกติ

สารพวก Electrolyte ได้แก่ sodium, potassium, magnesium, calcium, chloride และ bicarbonate จะถูกดูดซึมจากทุก ๆ ส่วนของ Renal tubule ซึ่งมี Hormone aldosterone ช่วยควบคุมในการดูดซึม

2. Reabsorption โดยกระบวนการ Diffusion และ Osmosis เป็นการดูดซึมกลับของสารที่มีโมเลกุลใหญ่ ๆ ที่เป็นของเหลว ถ้ามีความเข้มข้นสูงก็จะซึมกลับโดยวิธีการ Osmosis เช่น glucose, plasma, protein, amino acid ส่วนสารละลายอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปของเหลวนั้นก็จะ diffuse เข้าไปในของเหลวอีกต่อหนึ่งเพื่อดูดซึมกลับเข้ากระแสเลือด

สารที่ร่างกายไม่ต้องการ ได้แก่ urea, uric acid, creatinine และของเสียที่เกิดจาก Metabolism ของ protein อื่น ๆ จะไม่สามารถซึมผ่าน tubules เข้าสู่เลือดได้จึงถูกขับไปสู่ Collecting tubules ออกมาเป็นน้ำปัสสาวะ

**หลอดไต (THE URETERS)**




หลอดไตเป็นหลอดกล้ามเนื้อซึ่งมีการบีบรัดตัวต่อเนื่องในทิศทางเดียว เพื่อนำน้ำปัสสาวะที่สร้างจากไตไปเก็บยังกระเพาะปัสสาวะ แต่ละหลอดยาวประมาณ 25 ถึง 30 ซม. ลักษณะเป็นหลอดหนาแคบทรงกระบอกต่อลงมาโดยตรงจากกรวยไตทางด้านบน ตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับกรวยไตมักคอดลงเป็นที่สังเกตได้ หลอดไตทอดตัวลงมาตามกล้ามเนื้อของผนังช่องท้องด้านหลัง (psoas major muscle) ขนานกับแนวกระดูกสันหลังเข้าสู่โพรงเชิงกราน (pelvic cavity) ไปเปิดเข้าสู่กระเพาะปัสสาวะตรงส่วนฐาน โดยทั่วไปหลอดไตมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 มม. และมีรอยคอด 3 แห่งคือด้านบนบริเวณที่ต่อกับกรวยไตด้านล่างตรงตำแหน่งที่เริ่มทอดตัวเข้าสู่โพรงเชิงกรานซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทอดทับขอบของ true pelvis อยู่ค่อนมาทางแนวกลางตัวเมื่อเทียบกับกล้ามเนื้อของผนังช่องท้องด้านหลัง (psoas major muscle) และสุดท้ายเป็นตำแหน่งที่แคบที่สุดคือจุดสิ้นสุดของหลอดไตขณะที่แทงผ่านผนังกระเพาะปัสสาวะเข้าสู่ภายใน ในเพศหญิงขณะที่หลอดไตทอดผ่านด้านข้างของคอมดลูก (Cervix) ก่อนที่จะเข้าสู่กระเพาะปัสสาวะจะถูกทอดข้ามด้วยหลอดเลือดแดงหลักของมดลูก (uterine artery)

**จุลกายวิภาคของหลอดไต (MICROSCOPIC ANATOMY OF THE URETERS)**

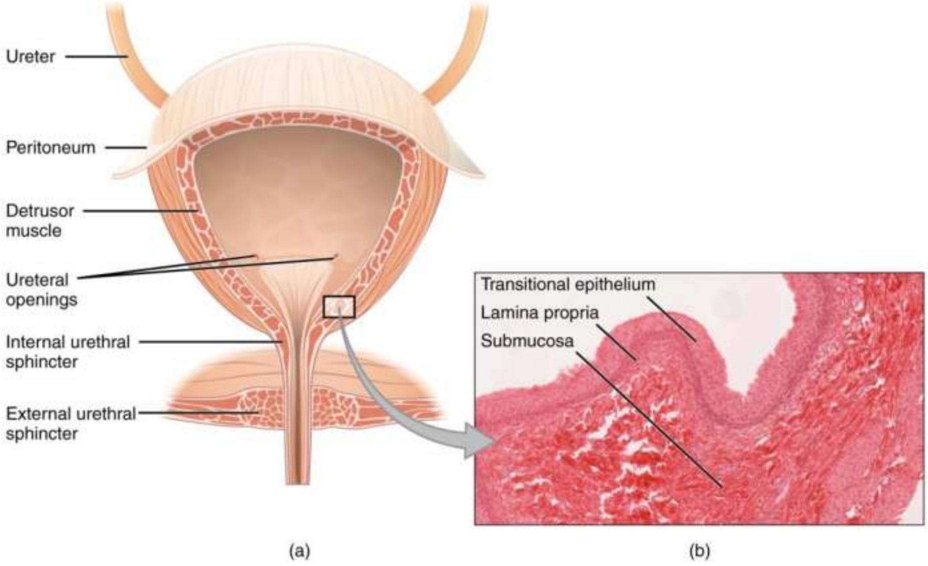
ทั้งกรวยไตและหลอดไตประกอบด้วยผนัง 3 ชั้นคือ Tunica mucosa, Tunica muscularis และ Tunica adventitia

1. Tunica mucosa บุด้วย transitional epithelium ในชั้น lamina propria มี lymphatic tissue มาก แต่ไม่พบต่อมเมือก ชั้นนี้มักพบเป็นสันตามยาวยื่นเข้าไปในรูของหลอดไต

2. Tunica muscularis เป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบที่หนาเรียงตัว 2 ชั้น ชั้นในเรียงตัวตามยาวหุ้มด้วยชั้นนอกซึ่งเรียงตัวเป็นวงรอบอีกชั้นหนึ่ง ยกเว้นในส่วนล่างของหลอดไตจะมีแต่ชั้นกล้ามเนื้อตามยาวและส่วนของกรวยไตซึ่งจะมีแต่ชั้นกล้ามเนื้อวงรอบที่ทำหน้าที่เป็นหูรูดเท่านั้น

3. Tunica adventitia เป็น fibroelastic connective tissue

**กระเพาะปัสสาวะหรือกระเพาะเบา (THE URINARY BLADDER)**




กระเพาะปัสสาวะเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่กักเก็บน้ำปัสสาวะแต่เพียงอย่างเดียวโดยขนาด รูปร่าง และตำแหน่งจะเปลี่ยนแปลงไปได้ตามปริมาณของน้ำปัสสาวะที่บรรจุอยู่ และเปลี่ยนแปลงตามขนาดของอวัยวะข้างเคียงเช่นมดลูก (uterus) และไส้ตรง (rectum) ด้วย เมื่อไม่มีน้ำปัสสาวะกระเพาะปัสสาวะจะอยู่เฉพาะในโพรงเชิงกราน (pelvic cavity) แต่เมื่อมีน้ำปัสสาวะเต็มจะขยายขึ้นไปทั้งด้านบนและด้านหน้าเข้าไปอยู่ในช่องท้องส่วนล่าง (abdominal cavity)

กระเพาะปัสสาวะที่ว่างเปล่าจะมีรูปร่างเป็นจัตุรมุข (tetrahedron) หรือรูปกรวยสามเหลี่ยม ประกอบด้วยด้านฐาน (base), ส่วนคอ (neck), ส่วนยอด (apex), ผิวด้านบน (superior surface) และผิวด้านข้าง 2 ด้าน (inferolateral surface)

ด้านฐาน (base or fundus) เป็นรูปสามเหลี่ยมหันไปทางด้านหลังและด้านล่าง ในเพศหญิงสัมพันธ์อยู่กับผนังด้านหน้าของช่องคลอด (vagina) ในเพศชายวางอยู่หน้าไส้ตรง (rectum) ส่วนคอเป็นส่วนที่อยู่ต่ำสุดและเป็นส่วนที่ถูกยึดไว้แน่นที่สุดของกระเพาะปัสสาวะวางอยู่หลัง symphysis pubis ประมาณ 3 ถึง 4 ซม. กระเพาะปัสสาวะมีรูเปิดออกสู่หลอดปัสสาวะเรียกว่า internal urethral orifice ไม่มีรอยคอดเป็นพิเศษที่ส่วนคอนี้ ในเพศชายส่วนคอวางอยู่บนส่วนฐานของต่อมลูกหมาก (prostate gland) ในเพศหญิงวางอยู่บนกล้ามเนื้อที่เป็นพื้นของช่องเชิงกราน (pelvic diaphragm) ส่วนยอดชี้ไปทางด้านหน้าเหนือ symphysis pubis ผิวด้านบนเป็นรูปสามเหลี่ยมมีตำแหน่งของหลอดไตที่เข้าสู่กระเพาะปัสสาวะทั้ง 2 ข้างและส่วนยอดเป็นมุมทั้ง 3 ของสามเหลี่ยมนี้ ผิวด้านบนถูกคลุมด้วยเยื่อบุช่องท้องและมีลำไส้ใหญ่ส่วนคด (sigmoid colon) และลำไส้เล็กท่อนปลายสัมพันธ์อยู่กับผิวด้านนี้ ด้านข้างแต่ละด้านฝังอยู่ในไขมันของโพรงเชิงกราน

เมื่อกระเพาะปัสสาวะมีปัสสาวะเต็มรูปร่างจะเปลี่ยนไปเป็นรูปไข่ สามารถขยายขึ้นไปถึงระดับสะดือหรือสูงกว่าโดยส่วนหน้าของด้านข้างทั้ง 2 ด้านจะกลายมาเป็นผนังด้านหน้าพิงทาบไปกับผนังหน้าท้องและมีบริเวณระหว่างผนังด้านนี้กับผนังหน้าท้องที่ไม่มีเยื่อบุช่องท้องคลุมวัดจาก symphysis pubis ได้ถึง 5 ซม. ภายในกระเพาะปัสสาวะส่วนใหญ่ชั้นเยื่อเมือกจะไม่ยึดแน่นกับชั้นกล้ามเนื้อทำให้เกิดเป็นลอนนูนภายในทั่วไปเมื่อกระเพาะปัสสาวะหดตัวลอนนี้จะหายไปเมื่อกระเพาะปัสสาวะโป่งพองออกยกเว้นบริเวณสามเหลี่ยมเล็ก ๆ ที่เรียกว่า trigone ซึ่งอยู่เหนือและหลังต่อรูเปิดของหลอดปัสสาวะเยื่อเมือกบริเวณนี้ยึดแน่นกับชั้นกล้ามเนื้อและมัก

มีผิวเรียบมุมทั้ง 3 ของสามเหลี่ยมนี้เกิดจากรูเปิดของหลอดปัสสาวะทางด้านล่างและรูเปิดของหลอดไตทั้ง 2 ข้างทางด้านบน

จะเกิดการปัสสาวะเมื่อกระเพาะปัสสาวะบรรจุน้ำปัสสาวะไว้ 280 ลบ.ซม. และถ้ากลั้นไว้เกิน 500 ลบ.ซม. จะเกิดความรู้สึกอยากถ่ายปัสสาวะมากและจะปวดที่หน้าท้องส่วนล่างเป็นอย่างมาก

**จุลกายวิภาคของกระเพาะปัสสาวะ (MICROSCOPIC ANATOMY OF THE URINARY BLADDER)**

กระเพาะปัสสาวะประกอบด้วยผนัง 4 ชั้น คือ

1. Tunica mucosa เป็นชั้นเยื่อเมือกบุด้วย Transitional epithelium ภายในกระเพาะปัสสาวะ: ส่วนใหญ่ชั้นเยื่อเมือกจะไม่ยึดแน่นกับชั้นกล้ามเนื้อ ดังนั้นในเวลาที่กระเพาะปัสสาวะแฟบจะเห็นชั้นเยื่อเมือกหดตัวเป็นลอนนูน ลอนนี้จะหายไปเมื่อกระเพาะปัสสาวะโป่งออกยกเว้นบริเวณรูปสามเหลี่ยมที่อยู่ใกล้ฐานของกระเพาะปัสสาวะที่เรียกว่า trigone ซึ่งชั้นเยื่อเมือกบริเวณนี้จะเรียบอยู่เสมอเนื่องจากชั้นเยื่อเมือกยึดติดแน่นกับชั้นกล้ามเนื้อ ส่วนยอดของ trigone จะชี้ลงล่างไปที่รูเปิดของหลอดปัสสาวะ (internal urethral orifice) มุมทั้งสองตรงส่วนฐานของ trigone เป็นรูเปิดของหลอดไตแต่ละข้าง

2. Tunica submucosa เป็นชั้นของเนื้อยึดต่อที่ยึดชั้น mucosa ไว้กับชั้นกล้ามเนื้อ

3. Tunica muscularis เป็นชั้นกล้ามเนื้อของกระเพาะปัสสาวะเรียกว่า detrusor muscle ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ 3 ชั้น ชั้นในและชั้นนอกเรียงตัวตามยาว ชั้นกลางมีความหนามากที่สุดเรียงตัวบริเวณรอบรูเปิดของหลอดปัสสาวะ กล้ามเนื้อชั้นกลางจะหนาตัวขึ้นทำหน้าที่เป็นกล้ามเนื้อหูรูด (internal urethral sphincter) ควบคุมการไหลของน้ำปัสสาวะออกจากกระเพาะปัสสาวะโดยผ่านทางระบบประสาทอัตโนมัติเป็นวง

4. Tunica serosa and Tunica adventitia ทางด้านบนของกระเพาะปัสสาวะจะมี peritoneum คลุมส่วนทางด้านล่างเป็นเนื้อยึดต่อที่เรียงตัวกันหลวม ๆ (loose connective tissue)

**การทำงานของกระเพาะปัสสาวะ**

กระเพาะปัสสาวะทำหน้าที่เก็บกักน้ำปัสสาวะและปล่อยออกเป็นครั้งคราว การบีบตัวของกระเพาะปัสสาวะควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ Sympathetic อยู่ที่ Lumbar แล้วมี Efferent fibers ไปอยู่ที่กระเพาะปัสสาวะและกล้ามเนื้อหูรูด (Sphincter) เมื่อเริ่มมีน้ำปัสสาวะราว 150 ลบ.ซม. คนเราจะเริ่มปวดปัสสาวะเล็กน้อย แต่ยังไม่ต้องไปถ่ายปัสสาวะ กระเพาะปัสสาวะยังสามารถจุน้ำปัสสาวะไปได้เรื่อย ๆ โดยที่ไม่มีอาการปวดปัสสาวะเพิ่มขึ้นมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการขยายตัวของกล้ามเนื้อเรียบของผนังกระเพาะปัสสาวะจนกระทั่งปริมาณปัสสาวะในกระเพาะเพิ่มเป็น 400 ถึง 500 ลบ.ซม. จะมีอาการปวดปัสสาวะมากขึ้นจนไม่สามารถจะรอได้อีก ต้องไปถ่ายปัสสาวะ กล้ามเนื้อเรียบของกระเพาะจะบีบตัวอย่างแรงเพื่อดันน้ำปัสสาวะออกขณะเดียวกันกล้ามเนื้อหูรูดที่ปิดท่อปัสสาวะอยู่ก็จะหย่อนตัวเพื่อให้ปัสสาวะออกมาได้ ในภาวะปกติคนเราจะปัสสาวะประมาณไม่เกิน 5 ครั้ง ในเวลากลางวันจนถึงก่อนนอน และหลังจากหลับแล้วจะลุกขึ้นปัสสาวะไม่เกิน 1 ครั้งหรือไม่ต้องลุกขึ้นเลย อัตรานี้จะเปลี่ยนไปเมื่อคนดื่มน้ำมากขึ้นกว่าปกติ หรือในกรณีอากาศหนาว ทำให้เสียน้ำไปทางเหงื่อน้อยลง

**การขับถ่ายปัสสาวะ (Micturition)**

ไตมีหน้าที่ขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย ซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดเวลา การทำงานของไตนับว่าสลับซับซ้อนมากพอสมควรดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เลือดที่ผ่านไตก่อนจะไหลกลับออกมาจะได้รับการกรองเอาของเสียออกมาเป็นน้ำปัสสาวะของเสียที่สำคัญ ได้แก่ พวกยูเรีย (Urea) ฟอสเฟต (Phosphate) และซัลเฟต (Sulfate) เป็นต้น ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการทำงานของร่างกายส่วนอื่น เช่น การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อการสังเคราะห์อาหารของตับเป็นต้น

น้ำปัสสาวะมีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 1.001-1.040 หมายความว่ามีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำบริสุทธิ์เล็กน้อย มีความเป็นกรดอ่อน ๆ (pH 6)

ปัสสาวะมีสีเหลืองอ่อน ๆ เนื่องมาจากสาร Urochrome ที่เกิดจากการทำลายของอาหารโปรตีน อาจพบว่าปัสสาวะมีสีเข้มในตอนเช้าเมื่อปัสสาวะครั้งแรก เพราะว่าเวลากลางคืนไตขับน้ำปัสสาวะออกน้อยกว่าเวลากลางวัน แต่สารละลายมีปริมาณเท่าเดิมเมื่อปัสสาวะออกใหม่ ๆ จะไม่ค่อยมีกลิ่นมาก แต่จะมีกลิ่นของแอมโมเนียมากขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้นานขึ้นเพราะว่าเชื้อแบคทีเรียได้มีการเปลี่ยนสารยูเรียให้เป็นสารแอมโมเนีย

**ส่วนประกอบของน้ำปัสสาวะ**

น้ำ (Water) 96% หรือ 1-1.5 ลิตร

สารอนินทรีย์ (Inorganic substances)

| | | |
|---|---|---|
| โซเดียม | 6 | กรัม |
| คลอไรด์ | 7 | กรัม |
| แคลเซียม | 0.2 | กรัม |
| โปตัสเซียม | 2 | กรัม |
| ฟอสเฟต | 1.7 | กรัม |
| ซัลเฟต | 1.8 | กรัม |

สารอินทรีย์ (Organic substances)

| | | |
|---|---|---|
| ยูเรีย (Urea) 2% | 20-30 | กรัม |
| กรดยูริก (Uric acid) | 0.6 | กรัม |
| ครีอาตินิน (Creatinine) | 1.2 | กรัม |
| แอมโมเนีย (Ammonia) | 0.5-0.9 | กรัม |

ฮอร์โมน ในปัสสาวะมีฮอร์โมนหลายชนิดโดยเฉพาะฮอร์โมนที่ผลิตโดยอวัยวะสืบพันธุ์และจาก Hypophysis การทดสอบว่าผู้หญิงจะตั้งครรภ์หรือไม่ ก็ใช้ตรวจปัสสาวะว่ามี Chorionic gonadotropins (HCG) ซึ่งผลิตโดยรก

**หลอดปัสสาวะ (THE URETHRA)**

**หลอดปัสสาวะเพศชาย (MALE URETHRA)**

หลอดปัสสาวะในเพศชายมีความยาว 18 ถึง 20 ซม. เริ่มจากรูเปิดภายใน (internal orifice) ที่คอของกระเพาะปัสสาวะไปจนถึงรูเปิดภายนอก (external meatus) หรือรูเปิดของหลอดปัสสาวะที่ปลายองคชาต (penis) หลอดปัสสาวะในเพศชายสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนตามตำแหน่งคือ prostatic part, membranous part และ spongy part ตามลำดับ ช่องภายในหลอดปัสสาวะจะเป็นช่องแคบ ๆ เว้นแต่เมื่อกำลังถ่ายปัสสาวะช่องนั้นจะขยายกว้างออก

prostatic part เป็นส่วนที่กว้างที่สุดยาวประมาณ 3 ซม. ทอดทะลุผ่านตลอดต่อมลูกหมาก (prostate gland) ตั้งแต่ฐานถึงส่วนยอดท่อของต่อมลูกหมากจะเปิดเข้าสู่หลอดปัสสาวะในส่วนนี้ทางด้านข้างทั้ง 2 ข้างตรงกลางทางด้านหลังจะมีรอยนูนออกมาจากผนังเรียกว่า colliculus seminalis ซึ่งจะมีรูเปิดของท่อน้ำเชื้อจากถุงน้ำอสุจิ (seminal vesicle) เรียกท่อที่เปิดเข้าบริเวณนี้ว่าท่อฉีดน้ำอสุจิ (ejaculatory duct) หลอดปัสสาวะในส่วนต้นที่บริเวณคอของกระเพาะปัสสาวะเหนือต่อรูเปิดของท่อฉีดน้ำอสุจิ (ejaculatory duct) จะมีกล้ามเนื้อหูรูดของหลอดปัสสาวะที่ควบคุมด้วยระบบประสาทอัตโนมัติเรียกว่าหูรูดหลอดปัสสาวะชั้นใน (internal urethral sphincter)

membranous part เป็นส่วนที่สั้นและแคบที่สุดเริ่มต้นจากยอดของต่อมลูกหมาก ทะลุเข้าสู่กระเปาะโคน (bulb) ขององคชาต โดยผ่านทะลุกล้ามเนื้อกะบังลมของช่องเชิงกรานและแผ่นกล้ามเนื้อที่ขึงระหว่าง pubic arch (pelvic diaphragm และ urogenital diaphragm) กล้ามเนื้อลายที่อยู่รอบท่อปัสสาวะในส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นกล้ามเนื้อหูรูดหลอดปัสสาวะชั้นนอก (sphincter urethrae หรือ external urethral sphincter) ควบคุมภายใต้อำนาจจิตใจ

Spongy part อยู่ภายในส่วนขององคชาต (penis) มีความยาวประมาณ 15 ซม. เริ่มจากส่วนปลายของ membranous part ไปจนถึงรูเปิดของหลอดปัสสาวะชั้นนอก (external urethral orifice) glans penis หลอดปัสสาวะส่วนนี้มีส่วนที่ขยายกว้างออก 2 แห่งคือตรงบริเวณจุดเริ่มต้นเรียกว่า intrabulbar fossa และอีกแห่งตรงส่วนปลายใน glans penis ซึ่งเรียกว่า navicular fossa ท่อของ bulbourethral glands 2 ข้างที่อยู่ในชั้นกล้ามเนื้อระหว่าง pubic arch จะมาเปิดออกสู่ส่วนต้นของ spongy urethra ส่วน urethral glands ซึ่งเป็นต่อมเมือก (mucous glands) จะพบอยู่ทั่วไปใต้ชั้นเยื่อเมือก

**หลอดปัสสาวะเพศหญิง (FEMALE URETHRA)**

หลอดปัสสาวะในเพศหญิงยาวเพียง 4 ซม. เท่านั้นเริ่มจากรูเปิดภายในของหลอดปัสสาวะ (internal urethral orifice) ที่คอของกระเพาะปัสสาวะแล้วแทงทะลุชั้นกล้ามเนื้อระหว่าง pelvic arch ไปสิ้นสุดที่รูเปิดภายนอกของหลอดปัสสาวะ (external urethral orifice) รูเปิดนี้อยู่หน้าช่องเปิดของช่องคลอดและอยู่หลัง glans clitoridis ประมาณ 2.5 ซม. เช่นเดียวกับในเพศชายหลอดปัสสาวะในเพศหญิงจะมี urethral glands มากมายกระจายอยู่ทั่วไปทางด้านหน้าใกล้ปลายเปิดของหลอดปัสสาวะมีต่อมอยู่กลุ่มหนึ่งทั้ง 2 ข้างรวมกันเป็นท่อเปิดเข้าสู่ขอบด้านข้างของรูเปิดภายนอกของหลอดปัสสาวะ (external urethral orifice) เรียกต่อมกลุ่มนี้ว่า paraurethral glands กล้ามเนื้อหูรูดของท่อปัสสาวะในเพศหญิงมีเหมือนในเพศชายทุกมัด

**จุลกายวิภาคของหลอดปัสสาวะ (MICROSCOPIC ANATOMY OF THE URETHRA)**

**หลอดปัสสาวะเพศชาย (MALE URETHRA)**

หลอดปัสสาวะในเพศชายประกอบด้วยผนัง 2 ชั้นชั้นในเป็นชั้นเยื่อเมือกและชั้นนอกเป็นชั้น submucosa ซึ่งเป็นเนื้อยึดต่อที่ยึดชั้นเยื่อเมือกไว้กับโครงสร้างที่หลอดปัสสาวะทอดตัวผ่านชั้นเยื่อเมือกของหลอดปัสสาวะในเพศชายมีความแตกต่างกันในแต่ละบริเวณดังนี้ Prostatic urethra บุด้วย Transitional epithelium ซึ่งต่อเนื่องลงมาจากกระเพาะปัสสาวะ: ส่วนต้นของหลอดปัสสาวะจะมีชั้นกล้ามเนื้อเรียบวงรอบของกระเพาะปัสสาวะทำหน้าที่เป็นหูรูดหลอดปัสสาวะชั้นใน (internal urethral sphincter)

Membranous urethra ส่วนใหญ่บุด้วย Pseudostratified columnar epithelium อาจพบมี stratified columnar epithelium หรือ Transitional epithelium แทรกอยู่บ้างส่วนนี้ทอดตัวผ่าน urogenital diaphragm จึงมีกล้ามเนื้อลายหุ้มล้อมรอบทำหน้าที่เป็นหูรูดหลอดปัสสาวะชั้นนอก (external urethral sphincter) ควบคุมการขับถ่ายปัสสาวะภายใต้อำนาจจิตใจ

Spongy urethra เกือบทั้งหมดบุด้วย Pseudostratified columnar epithelium ยกเว้นบริเวณส่วนปลายของหลอดปัสสาวะที่ขยายกว้างขึ้นเรียกว่า fossa navicularis จะบุด้วย stratified squamous epithelium นอกจากนี้ในชั้นเยื่อเมือกตลอดความยาวของ spongy urethra ยังพบต่อมเมือกเรียกว่า urethral (Littre) glands ซึ่งทำหน้าที่ผลิตสารหล่อลื่นในเวลาที่มีเพศสัมพันธ์

หลอดปัสสาวะเพศหญิง (FEMALE URETHRA)

หลอดปัสสาวะในเพศหญิงประกอบด้วยผนัง 3 ชั้นชั้นในเป็นชั้นเยื่อเมือกโดยด้านที่อยู่ติดกับกระเพาะปัสสาวะบุด้วย Transitional epithelium ส่วนปลายบริเวณรูเปิดบุด้วย stratified squamous epithelium

แทรกด้วย Pseudostratified หรือ Stratified columnar epithelium ชั้นกลางเป็น loose fibrous connective tissue ที่มี venous sinuses เป็นจำนวนมากชั้นนอกเป็นชั้นกล้ามเนื้อตรงส่วนต้นเป็นกล้ามเนื้อเรียบที่ต่อเนื่องมาจากกระเพาะปัสสาวะส่วนปลายเป็นกล้ามเนื้อลายของ urogenital diaphragm ที่ทำหน้าที่เป็น external urethral sphincter

## สมดุลน้ำและกรดเบส

### 1. สารน้ำในร่างกาย

สารน้ำในร่างกายน้ำเป็นส่วนประกอบที่มากที่สุดในร่างกายโดยมีค่าประมาณร้อยละ 55-60 ของน้ำหนักตัว แต่อาจมีความแตกต่างกันได้ตามปริมาณของเนื้อเยื่อไขมันที่มีอยู่ในร่างกาย กล่าวคือคนที่มีเนื้อเยื่อไขมันมากจะมีสัดส่วนของน้ำต่อน้ำหนักตัวน้อยกว่าคนที่มีเนื้อเยื่อไขมันน้อย เนื่องจากเนื้อเยื่อไขมันมีน้ำเป็นส่วนประกอบน้อยกว่าเนื้อเยื่อชนิดอื่น ดังนั้นการคิดสัดส่วนที่แท้จริงของน้ำในร่างกายจึงมักคิดจากน้ำหนักตัวที่หักเอาน้ำหนักของเนื้อเยื่อไขมันออกแล้ว ซึ่งมักจะได้ค่าประมาณร้อยละ 70 นอกจากนี้สัดส่วนของน้ำในร่างกายยังแปรผันตามปัจจัยอื่น ๆ เช่นในภาวะปกติพบว่าเพศชายจะมีปริมาณน้ำในร่างกายมากกว่าเพศหญิง (เพศชายประมาณร้อยละ 60 และเพศหญิงประมาณร้อยละ 55 ของน้ำหนักตัว) เนื่องจากในภาวะปกติเพศหญิงมักมีเนื้อเยื่อไขมันมากกว่าเพศชายหรือในเด็กแรกเกิดจะมีสัดส่วนของน้ำมาก (ประมาณร้อยละ 75) และโตขึ้นปริมาณน้ำจะค่อยๆลดลงพบว่าเมื่ออายุมากกว่า 60 ปีสัดส่วนของน้ำในร่างกายจะลดลงเหลือประมาณร้อยละ 52 ในเพศชายและร้อยละ 46 ในเพศหญิงอย่างไรก็ตามสัดส่วนของน้ำในรางกายผู้ใหญ่ที่สุขภาพดีนั้นจะค่อยข้างคงที่แม้ว่าจะดื่มน้ำมากหรือน้อยกว่าปกติเพราะเมื่อร่างกายได้รับน้ำเข้าไปมากจะมีการขับปัสสาวะออกมากขึ้นและเมื่อร่างกายได้รับน้ำเข้าไปน้อยก็จะมีการขับปัสสาวะออกน้อยลงเช่นกัน

#### 1.1 การกระจายตัวของน้ำหรือของเหลวในร่างกาย

น้ำในร่างกายจะอยู่ในรูปของสารละลายหรืออาจเรียกว่าของเหลวในร่างกาย ซึ่งของเหลวในร่างกายจะกระจายตัวอยู่ใน 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือของเหลวในเซลล์ (intracellular fluid, ECF) และของเหลวนอกเซลล์ (extracellular fluid, ICF)

##### 1.1.1 ของเหลวในเซลล์ (Intracellular fluid, ICF)

ของเหลวในเซลล์หมายถึงของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งหมด มีความสำคัญในขบวนการเมแทบอลิซึมในคนที่มีน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัมจะมีของเหลวในร่างกายทั้งหมดประมาณ 42 ลิตร คิดเป็นของเหลวในเซลล์ประมาณ 28 ลิตรหรือมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 40 ของน้ำหนักตัว

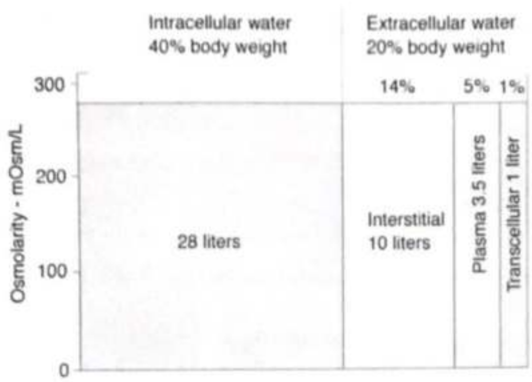
##### 1.1.2 ของเหลวนอกเซลล์ (Extracellular fluid, ECF)

หมายถึงของเหลวที่อยู่นอกเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งหมด เช่น น้ำที่อยู่ช่องระหว่างเซลล์ หรือน้ำที่เป็นส่วนประกอบของเลือดและน้ำเหลือง ของเหลวนอกเซลล์คิดเป็น 1/3 ของของเหลวในร่างกายทั้งหมด หรือประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัว คนปกติสุขภาพดีน้ำหนัก 70 กิโลกรัมจะมีของเหลวนอกเซลล์ประมาณ 14 ลิตร ซึ่งของเหลวนอกเซลล์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1) ของเหลวที่ช่องระหว่างเซลล์ (Interstitial fluid, ISF) เป็นน้ำที่อยู่รอบ ๆ เซลล์ หรือน้ำตามช่องว่างระหว่างเซลล์มีหน้าที่ช่วยในการนำสารอาหารต่าง ๆ รวมทั้งออกซิเจนเข้าสู่เซลล์และนำของเสียออกจากเซลล์ ของเหลวที่ช่องระหว่างเซลล์มีสัดส่วนประมาณ 3/4 ของของเหลวนอกเซลล์ทั้งหมด

2) ของเหลวภายในหลอดเลือด (Intravascular fluid) คือ ของเหลวที่อยู่ในระบบไหลเวียนเลือด ประกอบด้วยส่วนหลักคือพลาสมาโดยของเหลวภายในหลอดเลือดคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 1/4 ของของเหลวนอกเซลล์ทั้งหมด หรือประมาณ 3-4 ลิตร

3) ของเหลวผ่านเซลล์ (Transcellular fluid) ของเหลวนอกเซลล์ยังรวมไปถึงของเหลวผ่านเซลล์ด้วยซึ่งหมายถึงของเหลวที่ถูกสร้างขึ้นภายในเซลล์แล้วถูกขับออกนอกเซลล์เพื่อทำหน้าที่เฉพาะเช่นของเหลวในระบบทางเดินอาหาร ของเหลวในสมองและไขสันหลัง ของเหลวในช่องปอด ของเหลวในช่องท้อง ของเหลวในไขข้อ และของเหลวในลูกตา เป็นต้น โดยปริมาตรของของเหลวผ่านเซลล์ในร่างกายทั้งหมดมีประมาณ 1-2 ลิตร




**1.2 ส่วนประกอบของของเหลวในร่างกาย (Constituents of body fluid)**

**1.2.1 ส่วนประกอบของของเหลวนอกเซลล์**

เนื่องจากพลาสมาและ interstitial fluid ถูกแยกจากกันโดยผนังของหลอดเลือดฝอยที่มีค่าการยอมให้สารต่าง ๆ ผ่านได้สูง จึงพบว่าส่วนประกอบของของเหลวทั้งสองบริเวณนั้นมีลักษณะคล้ายกันยกเว้นส่วนประกอบที่เป็นโปรตีนที่จะพบได้มากในพลาสมา เนื่องจากโปรตีนมีโมเลกุลขนาดใหญ่จะแพร่ผ่านผนังของหลอดเลือดฝอยได้ยาก จึงไม่พบเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวที่ interstitial fluid แต่อาจพบโปรตีนขนาดเล็กอยู่บ้างซึ่งจำนวนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อ ดังนั้นส่วนประกอบที่แตกแต่งกันของพลาสมาและ interstitial fluid ก็คือจำนวนของโปรตีน

จากกฎของกิบส์-ดอนเนียน (Gibbs-Donnan equilibrium) ทำให้จำนวนของไอออนบวกในพลาสมาสูงกว่าใน interstitial fluid เล็กน้อย (ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์) ยกตัวอย่างเช่น จำนวนของโซเดียมไอออนในพลาสมาจะสูงกว่าใน interstitial fluid เล็กน้อย เนื่องจากโปรตีนมีประจุเป็นลบและพบในพลาสมามากกว่า ในทำนองเดียวกันก็จะพบว่าจำนวนของไอออนลบในพลาสมาจะต่ำกว่าใน interstitial fluid เล็กน้อยเช่นกัน เนื่องจากประจุลบที่โปรตีนจะผลักไอออนที่มีประจุบด้วยกัน แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดในพลาสมาและ interstitial fluid จะมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวในเซลล์แล้วพบว่า ของเหลวนอกเซลล์มีไอออนประจุบวกที่พบมากที่สุดคือโซเดียม ส่วนไอออนประจุลบที่มีจำนวนมากที่สุดคือ คลอไรด์และไบคาร์บอเนต นอกจากนี้ของเหลวนอกเซลล์ยังมีไอออนอื่น ๆ ที่พบได้จำนวนน้อย เช่น โพสแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสเฟต และกรดอินทรีย์ เนื่องจากของเหลวนอกเซลล์เปรียบเสมือนเป็น“ สภาวะแวดล้อมภายในร่างกาย” (internal environment) จึงต้องควบคุมให้คงที่เหมาะแก่การดำรงชีวิตของเซลล์

**1.2.2 ส่วนประกอบของของเหลวในเซลล์**

ส่วนประกอบของของเหลวในเซลล์นั้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ เช่นเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์กล้ามเนื้อ หรือเซลล์ตับ โดยเซลล์เหล่านี้จะมี functional protein และจำนวนไอออนที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวนอกเซลล์จะพบว่าของเหลวในเซลล์มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม ฟอสเฟต แมกนีเซียม และโปรตีนสูงกว่าของเหลวนอกเซลล์

**1.3 การแลกเปลี่ยนของน้ำในส่วนต่างๆของร่างกาย**

แม้ว่าส่วนประกอบของของเหลวนอกเซลล์และในเซลล์จะมีความแตกต่างกัน แต่ของเหลวทั้งสองส่วนจะมีค่าความเข้มข้นออสโมลาริตี (osmolarity) เท่ากันเพื่อรักษาปริมาณน้ำในเซลล์และสภาพของเซลล์ให้สามารถดำรงอยู่ได้อย่างเป็นปกติการเคลื่อนที่ของน้ำในส่วนต่างๆของร่างกายต้องอาศัยแรงดัน 2 ชนิดคือแรงดันน้ำ (hydrostatic pressure) แรงดันออสโมติก (osmotic pressure) แรงดันน้ำเกิดขึ้นโดยอาศัยการบีบตัวของหัวใจทำให้เกิดแรงดันผลักดันน้ำจากเส้นเลือดฝอยออกไปยังช่องว่างระหว่างเซลล์โดยแรงดันน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำด้วยถ้ามีปริมาณน้ำมากแรงดันน้ำก็จะสูงขึ้นเช่นกัน ส่วนแรงดันออสโมติกคือแรงที่ทำหน้าที่ในการดึงดูดน้ำไว้ภายในหลอดเลือดแรงนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวถูกละลายในสารละลายหรือปริมาณโปรตีนภายในเลือดโดยเฉพาะอย่างยิ่งอัลบูมิน ถ้าแรงดันออสโมติกเกิดจากโปรตีนเป็นหลักอาจเรียกแรงนี้ว่า oncotic pressure แรงดันเหล่านี้จะเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำที่อยู่ในส่วนของเหลวนอกเซลล์และของเหลวในเซลล์

การเติมน้ำหรือดื่มน้ำเข้าไป เมื่อเราดื่มน้ำเข้าไปน้ำจะแพร่อย่างรวดเร็วเข้าสู่ ECF และ ICF ตามลำดับผลที่ได้คือปริมาตรของน้ำใน ECF และ ICF เพิ่มขึ้น แต่ค่าออสโมลาริติลดลง ปริมาณน้ำที่ดื่มเข้าไปจะอยู่ใน ICF มากกว่า ECF เนื่องจาก ICF มีห้องบรรจุน้ำใหญ่กว่า แต่ในความเป็นจริงนั้นเมื่อคนปกติดื่มน้ำเข้าไปจะมีผลเปลี่ยนแปลงปริมาตรและค่าออสโมลาริตีของน้ำในร่างกายน้ำน้อยมาก เนื่องจากไตมีการขับน้ำปัสสาวะออกอย่างรวดเร็วก่อนที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

การเพิ่มตัวถูกละลายในร่างกาย เมื่อมีการให้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูง (มากกว่า 0.9 % โซเดียมคอลไรต์) ทางหลอดเลือดดำจะทำให้ปริมาตรน้ำใน ECF เพิ่มขึ้น แต่ปริมาตรน้ำใน ICE จะลดลงเนื่องจากโซเดียมคลอไรต์ที่ให้เข้าไปจะทำให้ค่าออสโมลาริตีของ ECF เพิ่มขึ้นน้ำใน ICF จึงแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกนอกเซลล์จนกว่าค่าออสโมลาริตีนอกเซลล์และในเซลล์จะเท่ากัน

**2. สมดุลน้ำ (Water balance)**

สมดุลน้ำคือภาวะสมดุลระหว่างน้ำที่ร่างกายได้รับกับน้ำที่ถูกขับถ่ายออกจากร่างกาย ในแต่ละวันร่างกายควรได้รับน้ำ (1,500-2,100 มิลลิลิตร) เพื่อให้ร่างกายขับของเสียออกไปในรูปของปัสสาวะ เมื่อร่างกายได้รับน้ำน้อยอาจทำให้เกิดภาวะขาดน้ำและมีของเสียสะสมอยู่ในเลือดได้ อย่างไรก็ตามการดื่มน้ำมากเกินไปก็อาจเกิดโทษต่อร่างกายได้เช่นเดียวกัน

ในภาวะปกติร่างกายจะได้รับน้ำ (water intake) ประมาณ 2,300 มิลลิลิตร ซึ่งจะมาจากการกินโดยตรงประมาณ 2,100 มิลลิลิตร และมาจากกระบวนการเมแทบอลิซึมประมาณ 200 มิลลิลิตร ขณะเดียวกันร่างกายก็ขับน้ำออก (water out) ประมาณ 2,300 มิลลิลิตรเช่นเดียวกัน โดยแบ่งเป็นทางปัสสาวะประมาณ 1,400 มิลลิลิตร ทางอุจจาระประมาณ 100 มิลลิลิตร ทางเหงื่อประมาณ 100 มิลลิลิตร และขับออกแบบ insensible ทางปอดและผิวหนังอีกประมาณ 700 มิลลิลิตร

**2.1 การควบคุมสมดุลน้ำในร่างกาย (Regulation of body fluid)**

ในภาวะปกติร่างกายจะควบคุมทั้งปริมาตรและความเข้มข้นของน้ำ (ประมาณ 300 mOsm/l) ในร่างกายให้มีค่าคงที่ โดยมีกลไกในการควบคุมสมดุลน้ำดังนี้

2.1.1 การควบคุมโดยระบบประสาท

เป็นการควบคุมโดยการทำงานของสมองส่วนไฮโปทาลามัส บริเวณศูนย์ควบคุมการกระหายน้ำ (thirst center) กล่าวคือเมื่อปริมาตรของน้ำในร่างกายลดลงหรือความเข้มข้นของน้ำในร่างกายเพิ่มขึ้นจะกระตุ้น thirst Center ทำให้เกิดการกระหายน้ำและดื่มน้ำมากขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระตุ้น thirst Center มีดังต่อไปนี้ 1. ) เมื่อความเข้มข้นของเลือดสูงขึ้น (osmolarity สูงขึ้น) จะไปกระตุ้น Osmoreceptor ที่บริเวณ preoptic nucleus ในสมองส่วนไฮโปทาลามัส มีผลให้เกิดการกระตุ้น thirst center และเกิดการกระหายน้ำตามมา

2. ) เมื่อปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์และความดันเลือดลดลง การกระตุ้น thirst center ของกลไกนี้จะไม่เกี่ยวกับการเพิ่มความเข้มข้นของเลือด เช่นในภาวะที่เสียเลือดมากทำให้ปริมาตรและความดันเลือดลดลง แต่ความเข้มข้นของเลือดไม่เปลี่ยนแปลง ภาวะดังกล่าวสามารถกระตุ้น thirst center ผ่านทาง arterial baroreceptors reflex และ cardiopulmonary reflexes

3. ) ภาวะปากแห้งและคอแห้ง (Dryness of the mouth and mucous membranes of the esophagus) กล่าวคือเมื่อปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์ลดลง แต่ความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลทำให้การหลั่งน้ำลายลดลง ทำให้เกิดภาวะปากแห้งและคอแห้งซึ่งจะมีผลไปกระตุ้น thirst center ทำให้เกิดการกระหายน้ำได้เช่นกัน

4. ) ฮอร์โมน angiotensin II การศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า angiotensin II สามารถแพร่ผ่าน blood-brain barrier และมีผลในการกระตุ้น thirst Center ได้โดยตรง

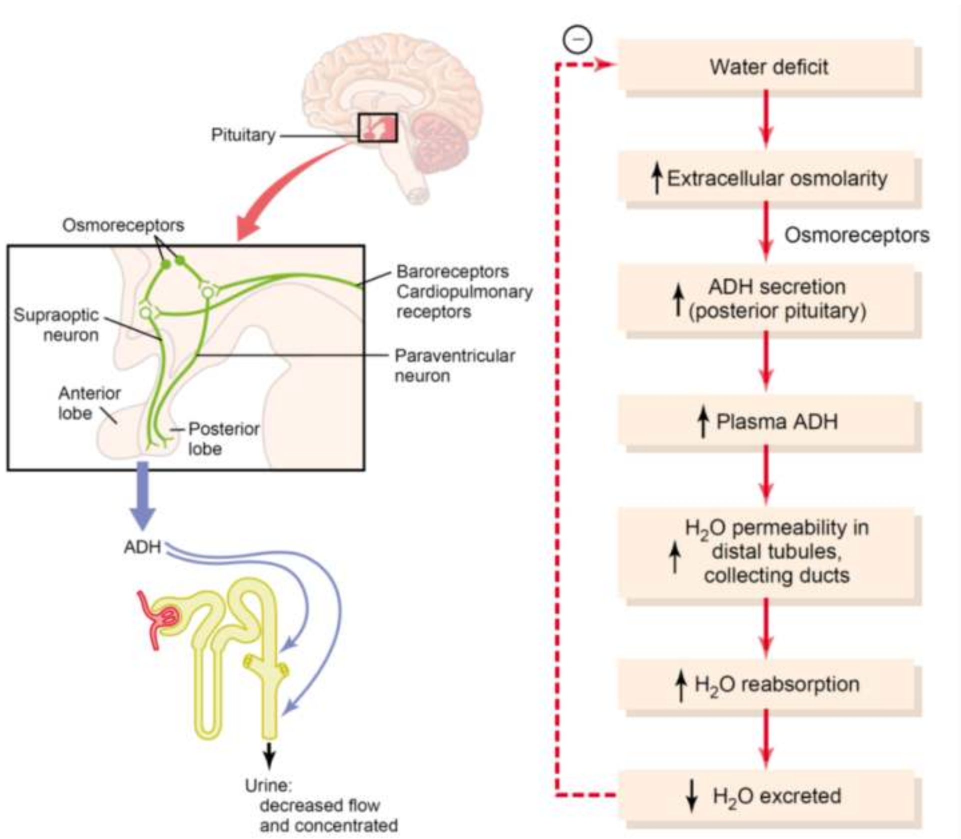
5. ) Gastric distention ช่วงแรกหลังจากการดื่มน้ำจะทำให้เกิดการยืดขยายของกระเพาะอาหารโดยที่ยังไม่มีการเปลี่ยนปริมาณและความเข้มข้นของของเหลวนอกเซลล์ การยืดขยายของกระเพาะอาหารนี้จะไปมีผลยับยั้ง thirst center ทำให้หยุดการกระหายน้ำได้เช่นกัน

**2.1.2 การควบคุมโดยกลไก Osmoreceptor-ADH feedback system**

Osmoreceptor-ADH feedback system เป็นกลไกในการควบคุมปริมาตรและความเข้มข้นของน้ำในร่างกาย กล่าวคือเมื่อร่างกายขาดน้ำและไม่ได้รับการดื่มน้ำทดแทน ทำให้ค่าออสโมลาริตีของ ECF สูงขึ้นจะไปกระตุ้น Osmoreceptor ในสมองส่วนไฮโปทาลามัสเกิดการถ่ายทอดสัญญาณประสาทไปยังเซลล์ใน supraoptic และ paraventricular nuclei จากนั้นส่งสัญญาณต่อไปยังต่อมใต้สมองส่วนหลังให้หลั่งฮอร์โมน ADH จากนั้นฮอร์โมน ADH จะขนส่งไปตามระบบไหลเวียนเลือดไปออกฤทธิ์ที่ท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมมีผลให้ท่อไตบริเวณดังกล่าวดูดน้ำกลับมากขึ้นทำให้น้ำปัสสาวะมีความเข้มข้นมากขึ้นและมีอัตราการไหลของน้ำปัสสาวะลดลง อย่างไรก็ตามกลไกดังกล่าวไม่ได้เป็นกลไกในการเพิ่มปริมาตรน้ำในร่างกาย แต่เป็นการลดการสูญเสียน้ำออกจากร่างกาย

การเพิ่มขึ้นของค่าออสโมลาริตีของ ECF เป็นปัจจัยหลักในกระกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน ADH แต่อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นที่สามารถกระตุ้นการหลั่งของฮอร์โมน ADH ได้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่นภาวะที่เสียเลือดจำนวนมาก ทำให้ปริมาตรและความดันเลือดลดลงแต่ความเข้มข้นของเลือดไม่เปลี่ยนแปลง จะสามารถกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน ADH ผ่านทาง arterial baroreceptors reflex และ cardiopulmonary reflexes นอกจากนี้ฮอร์โมนบางชนิดเช่น angiotensin II จะกระตุ้นการหลั่ง ADH ส่วน atrial natriuretic peptide (ANP) จะยับยั้งการหลั่ง ADH ความผิดปกติบางอย่าง เช่น ภาวะ hypoxia, รวมทั้งการได้รับสารหรือยาบางชนิด เช่น มอร์ฟีน นิโคติน

และไซโคลฟอสฟาไมด์ (cyclophosphamide) จะสามารถกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน ADH ได้ด้วย



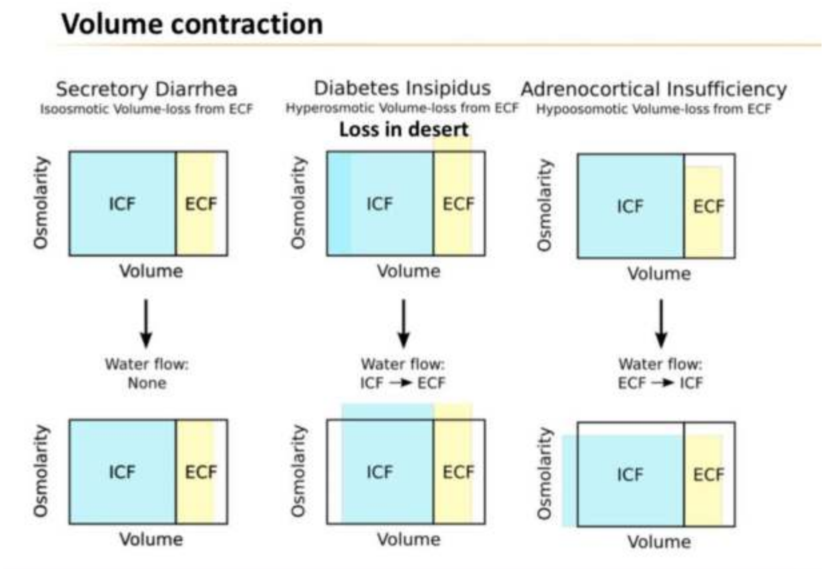

**2.3 ความผิดปกติของปริมาตรและความเข้มข้นของของเหลวนอกเซลล์**

ถ้าร่างกายเสียน้ำมากเกินปกติจะเกิดภาวะร่างกายขาดน้ำ (dehydration) ทำให้ปริมาตรของเหลวนอกเซลล์ลดลง (contraction) ส่งผลให้ของเหลวนอกเซลล์มีออสโมลาริที่เปลี่ยนแปลงได้ 3 แบบดังนี้

1. ) Isosmotic volume contraction เมื่อร่างกายสูญเสียน้ำในรูปแบบ isotonic solution เช่นภาวะ Secretory diarrhea ผู้ป่วยจะเสียน้ำและอิเล็กโทรไลต์จำนวนมากออกไปทางอุจาระ ซึ่งน้ำที่สูญเสียไปนั้นมีความเข้มข้นเท่ากับ ECF ทำให้ปริมาตรของ ECF ลดลง แต่ค่าออสโมลาริติไม่เปลี่ยนแปลงจึงไม่เกิดการออสโมซีสของน้ำระหว่าง ECF และ ICF

2. ) Hyperosmotic volume contraction เมื่อร่างกายสูญเสียน้ำในรูปแบบ hypotonic solution เช่น ภาวะขาดน้ำเนื่องจากเสียเหงื่อมากขณะอยู่ในทะเลทราย หรือขาดน้ำจากการปัสสาวะมากในผู้โรคเบาจืดน้ำที่สูญเสียไปนั้นมีความเข้มข้นน้อยกว่า ECF ทำให้ทำให้ปริมาตรของ ECF ลดลง แต่ค่าออสโมลาริที่เพิ่มขึ้นจึงมีผลให้น้ำออสโมซีสจาก ICE มาที่ ECE

3. ) Hypoosmotic volume contraction เมื่อร่างกายสูญเสียน้ำในรูปแบบ hypertonic Solution เช่น ในผู้ป่วยโรคต่อมหมวกไตหย่อนการทำงาน (adrenal insufficiency) ต่อมหมวกไตจะสร้างและหลั่งฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนได้น้อยลงมีผลให้โซเดียมและน้ำถูกขับออกทางปัสสาวะมากขึ้นปัสสาวะมีความเข้มข้นมากขึ้นและอัตราการไหลของน้ำปัสสาวะเพิ่มขึ้นซึ่งน้ำที่สูญเสียไปนั้นมีความเข้มข้นมากกว่า ECF ทำให้ปริมาตรและค่าออสโมลาริตีของ ECF ลดลงน้ำจึงออสโมซีสจาก ECF ไปที่ ICF

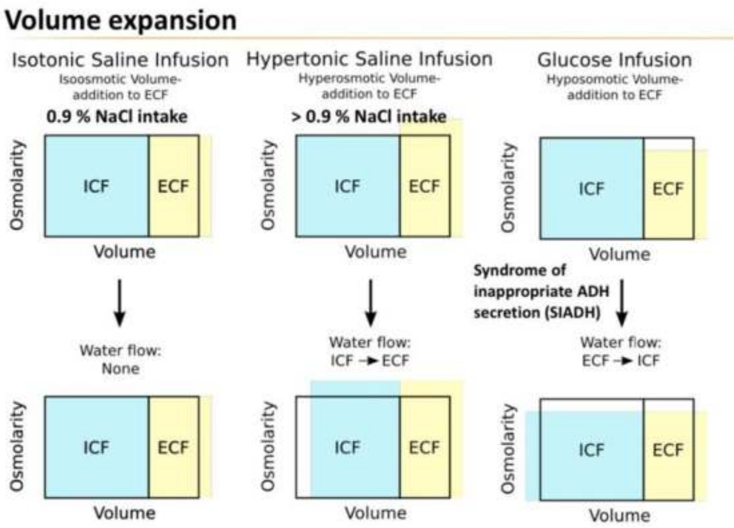



ในทำนองเดียวกันเมื่อร่างกายได้รับน้ำมากกว่าการขับน้ำออกแล้วมีปริมาตรของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้น (expansion หรือ overhydration) จะทำให้ของเหลวนอกเซลล์มีออสโมลาริตเปลี่ยนแปลงได้ 3 แบบดังนี้

1. ) Isosmotic volume expansion เมื่อร่างกายได้รับน้ำที่เป็น isotonic Solution เช่น การได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.9% ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับ ECF การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้เพิ่มปริมาตรของ ECF เพียงอย่างเดียว แต่ค่าออสโมลาริตีไม่เปลี่ยนแปลงจึงไม่เกิดการออสโมซีสของน้ำระหว่าง ECF และ ICF

2. ) Hyperosmotic volume expansion เมื่อร่างกายได้รับน้ำที่เป็น hypertonic Solution เช่นการได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นมากกว่า 0.9% ซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่า ECF การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้ปริมาตรและค่าออสโมลาริตีของ ECF เพิ่มขึ้นจึงทำให้น้ำออสโมซีสจาก ICE มาที่ ECF

3. ) Hypoosmotic volume expansion เมื่อร่างกายได้รับน้ำที่เป็น hypotonic solution เช่น การได้รับสารละลายกลูโคสทางหลอดเลือดดำซึ่งสารละลายมีความเข้มข้นน้อยกว่ากว่า ECF การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้ปริมาณของ ECF เพิ่มขึ้น แต่ค่าออสโมลาริตีของ ECF ลดลงจึงทำให้น้ำออสโมซีสจาก ECF มาที่ ICF หรือในคนไข้ที่มีภาวะ Syndrome of inappropriate ADH secretion (SIADH) จะให้เกิด hypoosmotic volume expansion ได้เช่นกัน




## 3. สมดุลโซเดียม (Sodium balance)

### 3.1 บทบาทของโซเดียมในร่างกาย

1. ) โซเดียมเป็นตัวสำคัญที่กำหนดออสโมลาริตและปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์ เพราะเป็นไอออนที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดในของเหลวนอกเซลล์และผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้น้อยจึงเป็นตัวที่ช่วยปรับแรง osmotic pressure และการกระจายตัวของน้ำในส่วนต่าง ๆ

2. ) โซเดียมมีบทบาทสำคัญในการเกิด neuromuscular excitability เนื่องจากเป็นไอออนที่มีความสำคัญในช่วงที่เกิด depolarization ของการเกิด action potential เซลล์ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

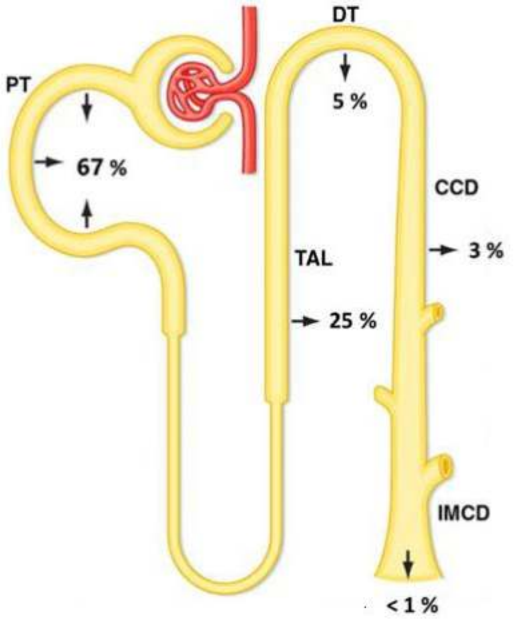
3. ) มีบทบาทเกี่ยวกับการดูดซึมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและกรดอะมิโน โดยการขนส่งน้ำตาลกลูโคสและกรดอะมิโนในระบบทางเดินอาหารและบริเวณท่อไต (sodium-glucose Cotransport และ Sodium-amino acid cotransport)

### 3.2 ความสำคัญของสมดุลโซเดียม

โดยปกติคนทั่วไปกินอาหารที่มีโซเดียมเป็นส่วนประกอบประมาณวันละ 100-155 mEq (milliosmole) สมมุติว่าวันนี้เรารับประทานอาหารที่มีโซเดียมเป็นส่วนประกอบ 155 mEq จะเกิดอะไรขึ้นถ้าหากไตไม่สามารถขับโซเดียมส่วนเกินออกทางปัสสาวะปกติความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาเท่ากับ 140 mEq/l (135-145 mEq/l) เนื่องจากโซเดียมสามารถแพร่ผ่านหลอดเลือดฝอยได้อย่างอิสระ จึงทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาและของเหลวที่ช่องระหว่างเซลล์มีค่าใกล้เคียงกัน จึงเปรียบเสมือนว่าความเข้มข้นของโซเดียมใน ECF มีค่า 140 mEq/l เช่นกัน ดังนั้นเมื่อเราเพิ่มโซเดียมเข้าไปในร่างกาย 155 mEq เราต้องกินน้ำเข้าไปเท่าไหร่จึงจะทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมใน ECF มีค่าเท่ากับ 140 mEq/l เหมือนเดิม

สรุปคือเราต้องดื่มน้ำเข้าไปประมาณ 1.1 ลิตรถึงจะทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมใน ECF มีค่าเป็นปกติ แต่หากเราไม่ได้ดื่มน้ำเพิ่มเข้าไปความเข้มขึ้นของโซเดียมใน ECF จะมีค่าสูงขึ้นทำให้ค่าออสโมลาริติใน ECF สูงขึ้นตามน้ำจึงออสโมซีสจาก ICF มาที่ ECF แต่ในความเป็นจริงแล้วโซเดียมประมาณร้อยละ 95 ของโซเดียมที่กินเข้าไปจะถูกขับออกทางปัสสาวะส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 5 จะถูกขับออกทางอุจจาระและเหงื่อ ไตจึงเป็นอวัยวะที่สำคัญที่สุดในการควบคุมสมดุลโซเดียม กล่าวคือเมื่อกินอาหารที่มีโซเดียมเป็นส่วนประกอบน้อย ไตจะขับ

โซเดียมออกทางปัสสาวะลดลงทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมในปัสสาวะลดลงในทางตรงกันข้ามเมื่อร่างกายได้รับโซเดียมมาก ไตจะขับโซเดียมออกทางปัสสาวะมากขึ้นเช่นกัน แต่ความสามารถในการขับทิ้งโซเดียมสูงสุดของไตนั้นประมาณวันละ 1000 mEq ดังนั้นเมื่อเรากินอาหารที่มีส่วนประกอบของโซเดียมในปริมาณมากเกินที่ร่างกายจะขับทิ้งหมดในวันเดียว ร่างกายต้องใช้ระยะเวลาหลายวันในการขับทิ้งโซเดียมส่วนเกินออกไป ช่วงเวลาดังกล่าวจะเกิด positive Na balance (intake> excretion) ทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาสูงขึ้น ค่าออสโมลาริตีของพลาสมาสูงขึ้น ระบบการควบคุมสมดุลน้ำจะทำงานเพื่อควบคุมออสโมลาริตีให้เป็นปกติ โดยการกระตุ้นการกระหายน้ำและลดการขับน้ำออกทางปัสสาวะการสร้างน้ำปัสสาวะลดลงจึงจะทำให้ปริมาตรของพลาสมาเพิ่มขึ้นในทางตรงข้ามหากเกิด negative Na balance (intake <excretion) จะทำให้ปริมาตรของพลาสมาลดลงเช่นกัน ดังนั้นสมดุลโซเดียมจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการความคุมปริมาตรและความเข้มข้นของของเหลวนอกเซลล์




**3.3 การความคุมสมดุลโซดียม**

ในภาวะปกติอัตราการกรองที่ไต (glomerular filtration rate, GFR) มีค่าประมาณ 180 ลิตร/วันความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมา ($P_{Na}$) เท่ากับ 140 mEq/l ดังนั้นปริมาณของโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสทั้งหมดในหนึ่งวันเท่ากับ 25,200 mEq

เมื่อปริมาตรของปัสสาวะที่ขับออกประมาณวันละ 1.5 ลิตร ความเข้มข้นของโซเดียมในปัสสาวะประมาณ 100 mEq/l ดังนั้นปริมาณของโซเดียมที่ถูกขับออกทางปัสสาวะ ($U_{NA}$) เท่ากับ 150 mEq

ดังนั้นปริมาณของโซเดียมที่ถูกดูดกลับเท่ากับ 25,200-150 = 25,050 mEq หรือประมาณร้อยละ 99.4 ของปริมาณโซเดียมทั้งหมดที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัส โดยถูกดูดกลับที่ท่อไตส่วนต้นประมาณร้อยละ 67 ที่ท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นประมาณร้อยละ 25 และบริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมดูกกลับโซเดียมอีกประมาณร้อยละ 8 เหลือโซเดียมถูกขับออกทางปัสสาวะประมาณร้อยละ 0.6 (150 mEq) ถึงแม้ท่อไตส่วนส่วนปลายและท่อไตรวมจะดูดกลับโซเดียมน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับท่อไตส่วนอื่น แต่การดูดกลับโซดียมที่ต่อไตส่วนนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้

ดังนั้นท่อไตส่วนส่วนปลายและท่อไตรวมจึงมีความสำคัญในการรักษาสมดุลโซเดียมในร่างกาย

**3.3.1 การความคุมสมดุลโซดียมในภาวะ Euvolemia**

การรักษาสมดุลของโซเดียมในภาวะ Euvolemia สามารถอธิบายได้ 2 กลไกดังนี้

1. ) การควบคุมปริมาณของโซเดียมในน้ำกรองก่อนส่งไปยังบริเวณท่อไตส่วนปลายให้มีค่าคงที่กล่าวคือ ต้องควบคุมการดูดกลับของโซเดียมที่ท่อไตส่วนต้นให้ได้ประมาณร้อยละ 67 ของปริมาณโซเดียมทั้งหมดที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัส และที่ท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นให้ได้ประมาณร้อยละ 25 ให้เหลือปริมาณโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสประมาณร้อยละ 8 ส่งไปยังท่อไตส่วนปลาย ซึ่งการรักษาปริมาณของโซเดียมในน้ำกรองก่อนส่งไปยังท่อไตส่วนปลายให้มีค่าคงที่นั้นต้องอาศัยกลไกดังนี้

1.1) กลไกการควบคุมโดยตัวเองหรือ autoregulation เป็นกลไกในการควบคุมปริมาณเลือดที่ไหลมายังไตและ GFR ให้มีค่าคงที่เนื่องจากเมื่อค่า GFR คงที่ปริมาณโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอลูรัสก็จะคงที่ แต่หากค่า GFR ลดลงปริมาณโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอลูรัสก็จะลดลงเช่นกัน

1.2) Glomerulotubular balance คือ ความสมดุลระหว่าง GFR และปริมาณของโซเดียมที่ถูกดูดกลับบริเวณท่อไตส่วนต้น ยกตัวอย่างเช่น เมื่อค่า GFR เพิ่มขึ้นบริเวณท่อไตส่วนต้นจะมีดูดกลับโซดียมมากขึ้นเช่นกัน

1.3) ความสามารถในดูดกลับโซเดียมของท่อไตรูปตัวยูขาขึ้น คือ เมื่อมีปริมาณโซเดียมในน้ำกรองสูงขึ้น อัตราการดูดกลับโซเดียมบริเวณท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2. ) การควบคุมการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม เมื่อปริมาณของโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสถูกส่งมาบริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมมีค่าคงที่ อัตราการดูกกลับโซเดียมบริเวณท่อไตส่วนนี้จะถูกควบคุมโดยฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน กล่าวคือ เมื่อระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนสูงจะมีการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนนี้เพิ่มขึ้น ทำให้มีการขับทิ้งโซเดียมทางปัสสาวะลดลง ในทางตรงข้ามเมื่อระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนต่ำการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนนี้จะลดลง ทำให้มีการขับทิ้งโซเดียมทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น ถึงแม้ร่างกายจะมีกลไกในการควบคุมสมดุลโซเดียมในภาวะ Euvolemia แต่หากร่างกายมีโซเดียมเกินในปริมาณมากจะทำให้เกิดภาวะ volume expansion ตามมาหรือในทางตรงข้ามหากร่างกายขาดโซเดียมในปริมาณมากก็จะสามารถทำให้เกิดภาวะ volume contraction ได้เช่นกันดังนั้นร่างกายจึงมีการควบคุมสมดุลโซเดียมในภาวะที่มี Volume expansion และ volume Contraction ดังนี้

**3.3.2 การความคุมสมดุลโซดียมในภาวะ Volume expansion**

การรักษาสมดุลของโซเดียมในภาวะ volume expansion สามารถอธิบายได้ 3 กลไกดังนี้

1. ) การเพิ่ม GFR เมื่อ GFR เพิ่มจะทำให้โซเดียมถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสมากขึ้น ทำให้เพิ่มการขับทิ้งโซเดียมทางปัสสาวะ ภาวะ volume expansion จะทำให้ GFR สูงขึ้นเนื่องจากปัจจัยดังต่อไปนี้

1.1) การลดลงของระบบประสาทซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงไต ภาวะ volume expansion จะกระตุ้น baroreceptors reflex และ cardiopulmonary reflexes มีผลลดการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้หลอดเลือด afferent arteriole คลายตัวส่งผลให้ glomerular capillary hydrostatic และ GFR เพิ่มขึ้น

1.2) ภาวะ volume expansion จะกระตุ้นการหลั่ง natriuretic peptide เช่น atrial natriuretic peptide (ANP), brain natriuretic peptide (BNP) และ uroditatin โดย natriuretic peptide เหล่านี้จะกระตุ้นให้ afferent arteriole คลายตัวพร้อมทั้งกระตุ้นให้ efferent arteriole หดตัวจึงทำให้ค่า GFR เพิ่มขึ้น

2. ) ลดการดูดกลับโซเดียมบริเวณท่อได้ส่วนต้นและท่อไตรูปตัวยูขาขึ้น ในภาวะ volume expansion ที่ท่อไตส่วนต้นและท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นจะดูดกลับโซเดียมน้อยลง อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยดังต่อไปนี้ 2.1) การลดการ

ทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงไต เนื่องจากการกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกมีฤทธิ์เพิ่มการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนต้นและท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นได้โดยตรง

2.2) การลดลงของ angiotensin II ในภาวะ volume expansion จะยับยั้งการหลั่ง renin จึงทำให้ angiotensin II ลดลงซึ่ง angiotensin II จะมีฤทธิ์กระตุ้นการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนต้น

2.3) ภาวะ volume expansion จะทำให้หลอดเลือด peritubular capillary มีแรงดัน hydrostatic pressure เพิ่มขึ้น แต่มีแรงดัน colloid osmotic pressure ลดลงจึงทำให้บริเวณท่อไตส่วนต้นดูดกลับน้ำและโซเดียมลดลง

3. ) ลดการดูดกลับโซเดียมบริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม ผลที่เกิดจากข้อ 1 และ 2 จะทำให้มีปริมาณโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสผ่านมาที่บริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมมากขึ้น และในภาวะ volume expansion ที่ท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมจะดูดกลับโซเดียมลดลง จึงทำให้โซเดียมถูกขับทิ้งทางปัสสาวะมากขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยดังต่อไปนี้

3.1) การลดลงของฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน ภาวะ volume expansion จะยับยั้งการหลั่ง Renin ทำให้ระดับ angiotensin II และอัลโตสเตอโรนลดลงส่งผลให้บริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมดูดกลับโซเดียมน้อยลง

3.2) ผลจากการกระตุ้นการหลั่ง natriuretic peptide เนื่องจาก natriuretic peptide มีฤทธิ์ยับยั้งการดูดกลับของโซเดียมที่ท่อไตรวม

**3.3.3 การความคุมสมดุลโซดียมในภาวะ Volume contraction**

การรักษาสมดุลของโซเดียมในภาวะ volume Contraction จะมีการชดเชยตรงข้ามกับการเกิด volume expansion โดยสามารถอธิบายได้ 3 กลไกดังนี้

1. ) การลด GFR เนื่องจากการเพิ่มการการทำงานของระบบประสารทซิมพาเทติกทำให้หลอดเลือด afferent และ efferent arteriole หดตัวโดยผลจะเกิดที่ aferent arteriole มากกว่าจึงทำให้ค่า glomerular capillary hydrostatic และ GFR ลดลง

2. ) เพิ่มการดูดกลับโซเดียมบริเวณท่อไตส่วนต้นและท่อไตรูปตัวยูขาขึ้น

2.1) การเพิ่มการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงไตเนื่องจากการกระตุ้นระบบประสาทซิมมพาเทติกจะมีผลเพิ่มการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนต้นและท่อไตรูปตัวยูขาขึ้น

2.2) การเพิ่มขึ้นของ angiotensin II เนื่องจาก angiotensin II จะมีฤทธิ์กระตุ้นการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนต้น

2.3) หลอดเลือด peritubular capillary มีแรงดัน hydrostatic pressure ลดลง แต่มีแรงดัน Colloid Osmotic pressure เพิ่มขึ้นจึงทำให้บริเวณท่อไตส่วนต้นดูดกลับน้ำและโซเดียมเพิ่มขึ้น

3. ) เพิ่มการดูดกลับโซเดียมบริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม ผลที่เกิดจากข้อ 1 และ 2 จะทำให้มีปริมาณโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัส ผ่านมาที่บริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมน้อยลง และในภาวะ volume Contraction ที่ท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมจะดูดกลับโซเดียมเพิ่มขึ้น จึงทำให้โซเดียมถูกขับทิ้งทางปัสสาวะน้อยลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากปัจจัยดังต่อไปนี้

3.1) การหลั่งฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากภาวะ volume contraction จะกระตุ้นการหลั่ง renin จึงทำให้ระดับ angiotensin II และอัลโดสเตอโรนสูงขึ้น ส่งผลให้บริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมดูตกลับโซเดียมเพิ่มขึ้น

3.2) การลดลงของระดับ natriuretic peptide เนื่องจาก natriuretic peptide มีฤทธิ์ยับยั้งการดูดกลับของโซเดียมที่ท่อไตรวมและในภาวะ Volume Contraction จะยับยั้งการหลั่งของ natriuretic peptide

**4. สมดุลกรด-ด่างในร่างกาย (Acid-Base balance)**

การรักษาสมดุลกรด-ด่างในร่างกายสามารถทำได้โดยการควบคุมความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ($[H^+]$) ในของเหลวนอกเซลล์หรือพลาสมาให้คงที่ กล่าวคือ ร่างกายจะต้องรักษาสมดุลระหว่างไฮโดรเจนไอออนที่ร่างกายได้รับเข้าไปรวมทั้งไฮโดรเจนไอออนที่ร่างกายสร้างขึ้นเองให้มีค่าเท่ากับปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับทิ้งจากร่างกายทั้งนี้เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างมีความสำคัญต่อการทำงานของเอ็นไซม์และปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ดังนั้นร่างกายจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมสมดุลกรด-ด่างให้มีค่าคงที่ ในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงกลไกการักษาสมดุลกรด-ด่างในร่างกาย ได้แก่ ระบบบัฟเฟอร์ในร่างกาย การรักษาสมดุลกรด-ด่างโดยระบบหายใจ การรักษาสมดุลกรด-ด่างโดยไต และความผิดปกติของสมดุลกรดด่างที่เกิดขึ้นในร่างกาย

**4.1 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในเลือด**

ในภาวะปกติระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในพลาสมามีค่าประมาณ 0.00004 mEq/l (40 nEq/l) ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับไอออนตัวอื่น เช่น ค่าความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมามีค่าเท่ากับ 142 mEq/l และมากกว่าค่าเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนประมาณ 3.5 ล้านเท่า ภาวะปกตินั้นระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนจะเปลี่ยนแปลี่ยงในช่วง 3-5 nEq/l เท่านั้น แต่ในภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนอย่างรุนแรง เช่น ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์น้อยกว่า 10 nEq/l หรือมากกว่า 160 nEq/l จะทำให้เซลล์ทำงานผิดปกติและเสียชีวิตได้

เนื่องจากค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในพลาสมามีค่าน้อยมาก จึงทำให้การวัดจำนวนของไฮโดรเจนไอออนในพลาสมานั้นทำได้ยาก ดังนั้นจึงนิยมใช้ค่า pH แทนความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ค่า pH จะสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นที่แท้จริงของไฮโดรเจนไอออน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$pH = -\log [H^+]$$

ยกตัวอย่างในภาวะปกติระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมีค่าเท่ากับ 40 nEq/l หรือ 0.00000004 Eq/l เมื่อแทนค่าในสูตรจะได้

$$pH = -\log [H^+]$$

$$pH = -\log (0.00000004)$$

$$pH = 7.4$$

จากสมการดังกล่าวจะพบว่าค่า pH จะแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน กล่าวคือ เมื่อค่า pH ลดลงแสดงว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนสูงขึ้น และในทางตรงข้ามเมื่อค่า pH สูงขึ้น แสดงว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนลดลง

**4.2 การควบคุมสมดุลกรด-ด่างในร่างกาย**

การควบคุมสมดุลกรด-ด่างในร่างกายมีหลักการคือ การควบคุมกรดหรือด่างที่ร่างกายได้รับต้องเท่ากับการกำจัดออกจากร่างกาย ในแต่ละวันร่างกายจะได้รับกรดโดยตรงจากอาหารหรือกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาผลาญอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ซึ่งจัดเป็นกรดที่ระเหยได้ (volatile acid) จากนั้นคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกำจัดออกจากร่ายกายโดยใช้ระบบหายใจในภาวะปกติ คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกำจัดออกจากร่างกายได้หมดโดยการหายใจ ดังนั้นกรดที่ระเหยได้จึงไม่รบกวนสมดุลกรด-ด่างของร่างกาย ส่วนการเผาผลาญอาหารประเภทโปรตีนจะเกิดกรดที่ระเหยไม่ได้

(nonvolatile acid) เช่น กรดซัลฟิวริค ($H_2SO_4$) และกรดฟอสฟอริค ($HPO_4^{2-}$) รวมทั้งกรดแลคติกที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญแบบไม่สมบูรณ์ของคาร์โบไฮเดรต โดยกรดที่ไม่สามารถระเหยได้เหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากร่างกายทางไต

นอกจากการได้รับกรดเข้าสู่ร่างกายแล้วเรายังสามารถรับด่างเข้าสู่ร่างกายได้เช่นกัน การเผาผลาญสารอาหารบางชนิดเช่นกลูตาเมต (glutamate) จะได้ไบคาร์บอเนต ($HCO_3^-$) หรืออาจมีการสูญเสียกรดหรือด่างออกร่างกาย เช่น การอาเจียนจะทำให้เสียกรดส่วนอาการท้องร่วงจะทำให้เกิดการสูญเสียด่างออกจากร่างกาย จะเห็นได้ว่าภาวะกรดและด่างในร่างกายจะถูกรบกวนอยู่ตลอดเวลา ร่ายกายจึงต้องมีกลไกเพื่อรักษาความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนและ pH ในเลือดไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปจากค่าปกติ โดยอาศัยการทำงานของกลไกต่อไปนี้ 1) ระบบบัฟเฟอร์ในร่างกาย 2) การทำงานของระบบหายใจ 3. ) การทำงานของระบบไต

**4.2.1 ระบบบัฟเฟอร์ในร่างกาย (buffer system of the body fluid)**

บัฟเฟอร์ (buffer) หมายถึง สารละลายของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน หรือหมายถึงสารละลายของด่างอ่อนกับเกลือของต่างอ่อน คุณสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ คือ สามารถต้านการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายเมื่อมีการเติมกรดแก่หรือเบสแก่เข้าไปในสารละลายดังกล่าว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนภายร่างกายบัฟเฟอร์จะเป็นกลไกแรกในการต้านการเปลี่ยนแปลงของ pH การทำงานของบัฟเฟอร์นั้นเป็นเพียงการเปลี่ยนจากกรดอิสระหรือไฮโดรเจนไอออนให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ของร่างกายเท่านั้น แต่จะไม่ได้กำจัดกรดออกจากร่างกายหรือเพิ่มกรดเข้าสู่ร่างกายแต่อย่างใด โดยรูปแบบทั่วไปของปฏิกิริยาบัฟเฟอร์ (buffering reaction) จะอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$\text{Buffer} + H^+ \qquad \text{H Buffer}$$

กล่าวคือไฮโดรเจนไอออนอิสระจะจับกับบัฟเฟอร์แล้วอยู่ในรูปกรดอ่อน (H Buffer) ในขณะเดียวกันกรดอ่อนก็สามารถแยกตัวกลับมาเป็นไฮโดรเจนไอออนอิสระและบัฟเฟอร์ได้เช่นกันยกตัวอย่างเช่นเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้นจากระดับปกติจะทำให้สมการเลื่อนไปทางขวา (shift right) ไฮโดรเจนไอออนจะจับกับบัฟเฟอร์ไปเรื่อย ๆ ตราบใดที่บัฟเฟอร์ยังสามารถใช้งานได้ ในทางตรงกันข้ามเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนลดลงสมการจะเลื่อนไปทางซ้าย (shift left) กรดอ่อนจะแตกตัวได้เป็นไฮโดรเจนไอออนและบัฟเฟอร์ จากกลไกดังกล่าวบัฟเฟอร์จึงสามารถต้านการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไฮโดรเจนไอออนในของเหลวของร่างกายได้

ดังนั้นระบัฟเฟอร์ในร่างกายมีความสำคัญต่อการรักษาระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของของเหลวในร่างกายให้อยู่ในช่วงปกติ ไม่ว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ตาม ยกตัวอย่างเช่น ในวันหนึ่งร่ายกายจะได้รับไฮโดรเจนไอออนทั้งจากอาหารที่กินเข้าไปและที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายรวมกันประมาณ 80 mEq โดยที่ค่าปกติของความเข้มข้นไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์มีค่าประมาณ 0.00004 mEq/L ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างมากหากไม่มีการทำงานของระบบบัฟเฟอร์ ในร่างกายของเรามีระบบบัฟเฟอร์ที่ทำหน้าที่ต้านการเปลี่ยนแปลงของ pH ที่สำคัญ 4 ชนิดดังนี้

1.1 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer) ฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีบทบาทสำคัญในการควบคุม pH ภายในเซลล์ทั้งนี้เนื่องจากฟอสเฟตมีปริมาณมากในของเหลวในเซลล์ นอกจากนี้ฟอสเฟตยังเป็นสารที่ถูกกรองโดยไตและถูกดูดกลับประมาณร้อยละ 90 ของฟอสเฟตที่ถูกกรองทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 10 จะถูกขับทิ้งมากับน้ำปัสสาวะจึงทำให้น้ำปัสสาวะมีความเข้มข้นของฟอสเฟตค่อนข้างสูง ดังนั้นฟอสเฟตจึงเป็นบัฟเฟอร์ที่สำคัญในน้ำปัสสาวะอีกด้วย

1.2 โปรตีนบัฟเฟอร์ (Protein buffer) เป็นบัฟเฟอร์ที่มีปริมาณมากที่สุด เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นกับบัฟเฟอร์ชนิดอื่นในของเหลวทั่วร่างกายจะพบว่าโปรตีนมีความเข้มมากที่สุด โดยเฉพาะที่ของเหลวในเซลล์

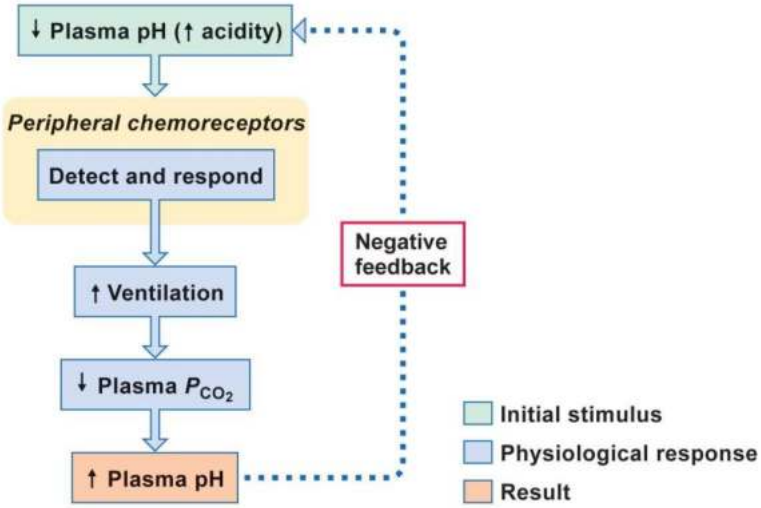
1.3 ฮีโมโกลบินบัฟเฟอร์ (Hemoglobin buffer) เป็นบัฟเฟอร์ที่สำคัญในการต้านการเปลี่ยนแปลง pH ภายในเซลล์ของเม็ดเลือดแดง โดยฮีโมโกลบินบัฟเฟอร์จะต้านการลดลงของ pH ที่เกิดจากกรดชนิดระเหยได้ โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์

1.4 ไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ (Bicarbonate buffer) เป็นบัฟเฟอร์ที่สำคัญที่สุดในการต้านการเปลี่ยนแปลงของ pH ที่ของเหลวนอกเซลล์ (extracellular fluid) ภาวะปกติความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในพลาสมาจะมีค่าประมาณ 23 – 25 mEq/L และปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์ประมาณ 14 ลิตร (ร้อยละ 60 ของน้ำหนัก 70 กิโลกรัม) ดังนั้นในของเหลวนอกเซลล์จะสามารถบัฟเฟอร์ไฮโดนเจนไอออนได้ประมาณ 350 mEq ไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์จะแตกต่างจากบัฟเฟอร์ชนิดอื่นเนื่องจากไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์สามารถทำงานเชื่อมกับการทำงานของอีก 2 ระบบที่ควบคุมสมดุลกรดด่างคือระบบหายใจและระบบไต

ในภาวะปกติค่าความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในเลือดเท่ากับ 24 mEq/L และค่าความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดเท่ากับ 40 mmHg เมื่อค่าความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในเลือดเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า pH ในเลือดสูงขึ้น (alkalosis) ขณะที่การเพิ่มขึ้นของความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดจะทำให้ pH ในเลือดลดลง (acidosis)

**4.2.2 การควบคุมสมดุลกรด-ด่างโดยระบบหายใจ (Respiratory regulation of acid-base balance)**

ระบบหายใจเป็นกลไกลำดับที่สองในการต้านการเปลี่ยนเปลี่ยนของระดับ pH ในร่างกาย เนื่องจากระบบหายใจจะทำหน้าที่ควบคุมความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในของเหลวนอกเซลล์ กล่าวคือ เมื่ออัตราเร็วของการหายใจเพิ่มขึ้นจะเพิ่มการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดลดลง จากผลดังกล่าวจึงทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนลดลง ในทางตรงข้ามเมื่ออัตราการหายใจลดลง จะทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจนั้นมีผลต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์ ดังนั้นร่างกายจึงอาศัยระบบหายใจเป็นกลไกในการควบคุมระดับ pH ในเลือดโดยการปรับเปลี่ยนการหายใจ ยกตัวอย่างเช่น ในภาวะที่ร่างกายอยู่ภาวะกรด (acidosis, pH <7.35) จะกระตุ้นการทำงานของตัวรับทางเคมี (peripheral chemoreceptor) ทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเพิ่มการขับทิ้งคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกายจึงทำให้ค่า pH สูงขึ้น

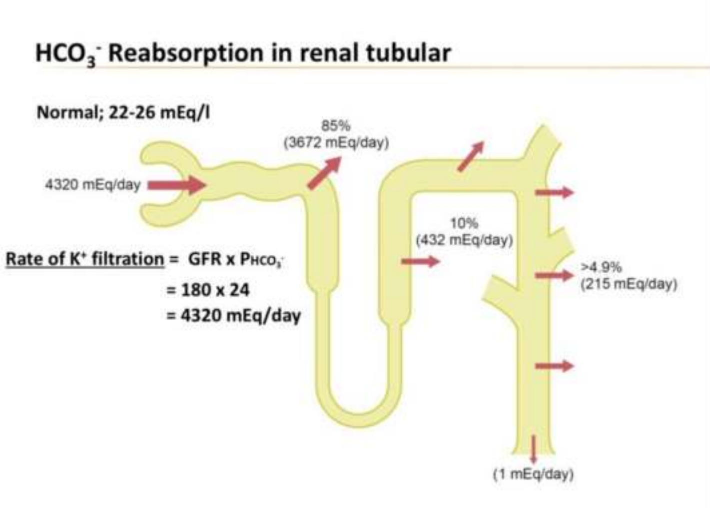



**4.2.3 การควบคุมสมดุลกรด-ด่างโดยระบบไต (Renal regulation of acid-base balance)**

การควบคุมสมดุลกรด-ด่างโดยระบบไตจะใช้เวลานานมากกว่าระบบบัฟเฟอร์และระบบหายใจ แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า ไตจะทำหน้าที่ควบคุมระดับ pH ในเลือดโดยการขับกรด ($H^+$) หรือด่าง ($HCO_3^-$) ส่วนเกินออกจากร่างกายทางปัสสาวะ เนื่องจากในภาวะปกติร่างกายจะสร้างกรดที่ไม่สามารถระเหยได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนวันละประมาณ 80 mEq ซึ่งกรดดังกล่าวไม่สามรถขับออกจากร่างกายโดยระบบหายใจ ไตจึงจำเป็นต้องขับกรดส่วนเกินดังกล่าวออกจากร่างกายทางปัสสาวะ การทำงานของไตในการรักษาสมดุลกรด-ด่างอาศัยกลไกดังต่อไปนี้

**4.2.3.1 การขับออก $H^+$ และการดูดกลับ $HCO_3^-$ โดยท่อไต**

การดูดกลับไบคาร์บอเนตจะเกิดขึ้นตลอดช่วงของท่อไต ยกเว้นที่ท่อไต่ส่วน descending limbs และ thin ascending limbs ของท่อไตรูปตัวยูจะไม่พบการดูดกลับไบคาร์บอเนต ในภาวะปกติความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในเลือดมีค่าประมาณ 24 mEq/L และอัตราการกรองประมาณ 180 L/day ดังนั้นปริมาณของไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสทั้งหมดจะเท่ากับ 4,320 mEq/day (24 x 180) พบว่าประมาณร้อยละ 80-90 ของไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสทั้งหมดจะถูกดูดกลับที่ท่อไตส่วนต้น ถูกดูดกลับที่ thick ascending limb ของท่อไตรูปตัวยูอีกประมาณร้อยละ 10 และและไบคาร์บอเนตที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 4.99 จะถูกดูดกลับที่ท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม จึงทำให้ไบคาร์บอเนตถูกขับทิ้งทางปัสสาวะน้อยมากหรืออาจไม่พบไบคาร์บอเนตเหลือออกมากับน้ำปัสสาวะเลย

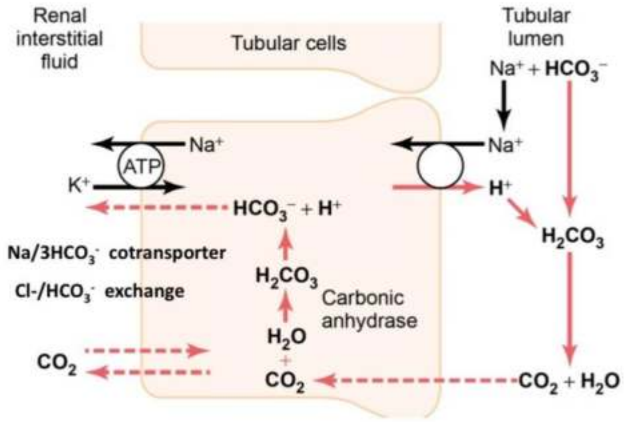



**1. ) การขับออกของ $H^{+}$ และการดูดกลับ $HCO_3^-$ บริเวณท่อไตส่วนส่วนต้นส่วน thick ascending limbs ของท่อไตรูปตัวยูและส่วนต้นของท่อไตส่วนปลาย**

อีพิธีเลียมเซลล์ของท่อไตส่วนต้นส่วน thick ascending limbs ของท่อไตรูปตัวยูและส่วนต้นของท่อไตส่วนปลายสามารถขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพรงท่อไตได้โดยใช้กระบวนการ $Na^{+}$ -$H^{+}$ counter-transport ซึ่งกระบวนการขนส่งดังกล่าวเป็นการขนส่งในรูปแบบ secondary active transport โดยโซเดียมจะเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ตาม Concentration gradient เมื่อโซเดียมเคลื่อนที่เข้าในเซลล์จะสนับสนุนให้ไฮโดรเจนหลั่งออกนอกเซลล์ต้าน concentration gradient และกระบวนการขน $Na^{+}$ -$H^{+}$ counter-transport จะเกิดขึ้นได้ต้องพึ่งพาการทำงานของ $Na^{+}$ $K^{+}$ ATPase pump ทางฝั่ง basolateral membrane เพื่อทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมในเซลล์น้อยกว่าในน้ำกรอง จึงทำให้โซเดียมในน้ำกรองเคลื่อนที่เข้าเซลล์ตามแรง Concentration gradient อย่างก็ตามในภาวะปกตินั้นไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตด้วยกระบวนการ $Na^{+}$ $H^{+}$ exchanger จะไม่ถูกขับทิ้งออกทางปัสสาวะ แต่ไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตในส่วนดังกล่าวจะช่วยในกระบวนการดูดกลับไบคาร์บอเนตเนื่องจากไบคาร์บอเนตไม่สามารถดูดกลับเข้าสู่กระแสเลือดโดยตรงได้ โดยที่ไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสจะถูกดูดกลับเข้าสู่เซลล์ท่อไตด้วยกระบวนการพิเศษ กล่าวคือ ไบคาร์บอเนตจะจับกับไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตได้เป็นกรดคาร์บอนิก ($H_2CO_3$) แล้วเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรสที่อยู่ผิวเซลล์จะเปลี่ยนกรดคาร์บอนิกเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำแล้วจึงเกิดแพร่เข้าสู่เซลล์ท่อไตอย่างรวดเร็วต่อไป เมื่อเข้าสู่เซลล์ท่อไตคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอนิกอย่างรวดเร็วโดยเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรสที่อยู่ในเซลล์ จากนั้นกรดคาร์บอนิกจะแตกตัวเป็นไบคาร์บอเนตและไฮโดรเจนไอออน โดยไบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ทางฝั่ง basolateral membrane เข้าสู่กระแสเลือดโดยกระบวนการ $Na^{+}$-$3HCO_3^-$ cotransport หรือ $Cl^-$-$HCO_3^-$ Counter-transport ต่อไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อเกิดการขับออกไฮโดรเจนไอออนออกจากเซลล์ท่อไตเข้าสู่โพรงท่อไต จะมีผลทำให้เกิดการดูดกลับไบคาร์บอเนตเข้าสู่กระแสเลือด

แม้ว่าเซลล์ท่อไตส่วนต้นส่วน thick ascending limbs ของท่อไตรูปตัวยูและส่วนต้นของท่อไตส่วนปลายจะเกิดการขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพรงท่อไตด้วยวิธี $Na^{+}$-$H^{+}$ counter-transport ก็ตาม แต่ไฮโดรเจนไอออนไม่ได้ถูกขับทิ้งออกจากร่างกาย แต่อย่างใดการขับออกไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์ดังกล่าวเป็นเพียงกระบวนการเพื่อช่วยในการดูดกลับไบคาร์บอเนตเท่านั้น นอกจากนี้การดูดกลับไบคาร์บอเนตที่ท่อไตยังต้องอาศัย

การทำงานของเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส ดังนั้นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรสจะขัดขวางการดูดกลับไบคาร์บอเนตที่ท่อไตด้วย

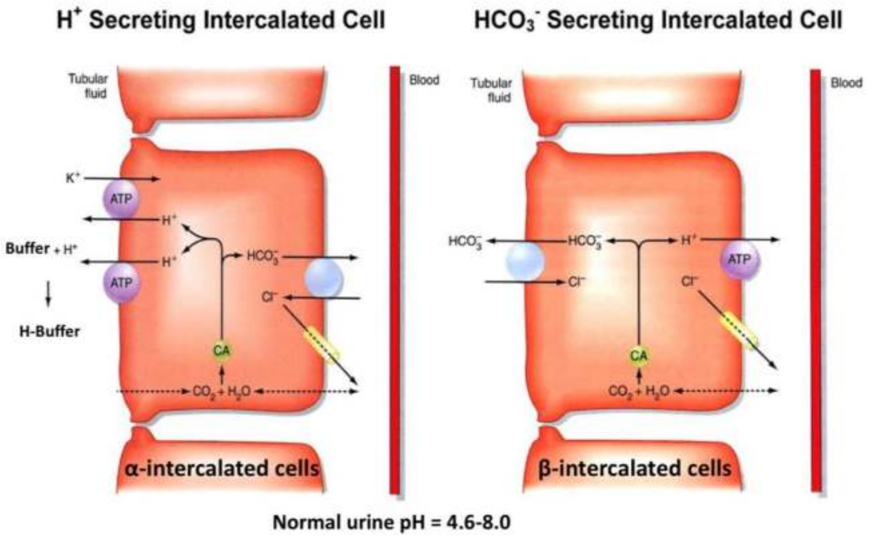



**Proximal tubule, thick ascending loop of Henle and early of distal tubule**

**2. ) การขับออกของ H * และการดูดกลับ HCO, ที่ส่วนท้ายของท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม**

ไบคาร์บอเนตที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 5 ของไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสทั้งหมดจะถูกดูดกลับที่ส่วนท้ายของท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม ซึ่งเป็นส่วนสุดท้ายในการดูดกลับไบคาร์บอเนตเพื่อป้องกันการสูญเสียไปกับปัสสาวะ กระบวนการดูดกลับไบคาร์บอเนตที่ท่อไตส่วนนี้จะคล้ายกับบริเวณท่อไตส่วนต้น แต่การขับออกไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์เข้าสู่โพรงท่อไตจะแตกต่างกัน กล่าวคือ บริเวณส่วนท้ายของท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมจะมีเซลล์ชนิด alpha intercalated cells ทำหน้าที่ขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพงท่อไตเพื่อใช้ในการดูดกลับไบคาร์บอเนตนั้น เป็นการขนส่งแบบ $H^+$-ATPase pump หรือ $H^+$-$K^+$ ATPase pump ซึ่งเป็นการขนส่งสารด้วยวิธี primary active transport ส่วนการขนส่งไบคาร์บอเนตออกจากเซลล์ท่อไตเข้าสู่กระแสเลือดทางฝั่ง basolateral membrane จะขนส่งโดยวิธี $Cl^-$-$HCO_3^-$ Counter-transport

การขับออกไฮโดรเจนไอออนจาก alpha intercalated cells ที่บริเวณส่วนท้ายของท่อไตส่วนปลายและบริเวณท่อไตรวมจะมีจำนวนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับท่อไตส่วนต้น (ประมาณร้อยละ 5 ของไฮโดรเจนที่ขับออกจากเซลล์ท่อไตทั้งหมด) แต่การขับออกไฮโดรเจนไอออนที่ท่อไตส่วนนี้เป็นกลไกความสำคัญที่ทำให้ปัสสาวะเป็นกรด ถึงแม้ที่ท่อไตส่วนต้นจะมีการขับออกไฮโดรเจนไอออนจำนวนมากก็ตาม แต่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนสามารถเพิ่มได้เพียง 3-4 เท่า เท่านั้น เนื่องจากถูกบัฟเฟอร์โดยไบคาร์บอเนตในน้ำกรองจึงทำให้ค่า pH ในน้ำกรองลดลงประมาณ 6.7 เท่านั้น แต่ที่ท่อไตรวมการขับออกไฮโดรเจนไอออนแม้จะมีปริมาณน้อยมาก แต่สามารถเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำกรองได้ถึง 900 เท่าเนื่องจากมีไบคาร์บอเนตบริเวณท่อไตส่วนนี้ที่เหลืออยู่น้อยมากจึงทำให้ค่า pH ในน้ำกรองลดลงถึง 4.5 ซึ่งเป็นค่า pH ที่ต่ำที่สุดของปัสสาวะ




นอกจากนี้บริเวณส่วนท้ายของท่อไตส่วนปลายและบริเวณท่อไตรวมยังมีเซลล์ชนิด beta intercalated cells ทำหน้าขับออกไบคาร์บอเนตเข้าสู่โพรงท่อไต พร้อมกับการสร้างไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่กระแสเลือด กระบวนการขับออกไบคาร์บอเนตโดย beta intercalated cells จะเริ่มจากคาร์บอนไดออกไซต์และน้ำถูกเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอนิกโดยเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรสที่อยู่ในเซลล์ จากนั้นกรดคาร์บอนิกจะแตกตัวเป็นไบคาร์บอเนตและไฮโดรเจนไอออนโดยไบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นจะถูกขับออกเข้าสู่โพรงท่อไตด้วยวิธี $Cl^-$-$HCO_3^-$ Counter-transport ส่วนไฮโดรเจนไอออนจะถูกขนส่งออกจากเซลล์เข้าสู่กระแสเลือดด้วยวิธี $H^+$ ATPase pump อย่างไรก็ตามกระบวนการขับออกไปคาร์บอเนตโดย beta intercalated cells จะไม่มีบทบาทมากนัก เนื่องจากภาวะปกติเลือดมีแนวโน้มจะเป็นกรดจากกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย แต่กระบวนการนี้จะมีความสำคัญในสภาวะที่ร่างกายมีด่างเกิน (blood pH> 7.45)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในสภาวะปกติอัตราการดูดกลับไบคาร์บอเนตบริเวณท่อไตจะมีค่าประมาณวันละ 4,320 mEq และการขับออกไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์ท่อไตเข้าสู่โพรงท่อไตมีค่าประมาณวันละ 4,400 mEq โดยที่ไฮโดรเจนไอออนที่เข้าสู่โพรงท่อไตประมาณ 4,320 mEq จะถูดกลับกลับพร้อมกับไบคาร์บอเนตในรูปคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำส่วนที่เหลืออีก 80 mEq คือไฮโดรเจนไอออนส่วนเกินที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย (กรดที่ระเหยไม่ได้, nonvolatile acid) จะถูกขับทิ้งกับปัสสาวะโดยที่การขับทิ้งไฮโดรเจนไอออนส่วนเกิดดังกล่าวจะไม่ถูกขับทิ้งในรูปไฮโดรเจนไอออนอิสระ แต่จะถูกจับโดยบัฟเฟอร์ชนิดอื่นที่อยู่ในน้ำกรอง ได้แก่ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์และแอมโมเนียบัฟเฟอร์ ส่วนในภาวะที่ร่างกายมีด่างเกินจำนวนไบคาร์บอเนตในน้ำกรองจะมากกว่าจำนวนไฮโดรเจนไอออน จึงทำให้ไบคาร์บอเนตถูกดูดกลับที่ท่อไตไม่หมดและไบคาร์บอเนตส่วนเกินจะถูกขับทิ้งออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ในทางตรงข้ามเมื่อร่างกายมีสภาวะกรดเกินจำนวนไฮโดรเจนไอออนในน้ำกรองจะมากกว่าจำนวนไบคาร์บอเนต จึงทำให้ไบคาร์บอเนตที่กรองผ่านโกลเมอรูลัสจะถูกดูดกลับทั้งหมดโดยไฮโดรเจนไอออนส่วนเกินจะถูกบัฟเฟอร์โดยฟอสเฟตและแอมโมเนียแล้วขับทิ้งทางปัสสาวะต่อไป

**4.2.3.2 การขับทิ้งไฮโดรเจนไอออนในรูปฟอสเฟตและแอมโมเนียบัฟเฟอร์แล้วสร้าง $HCO3^-$ ขึ้นมาใหม่**

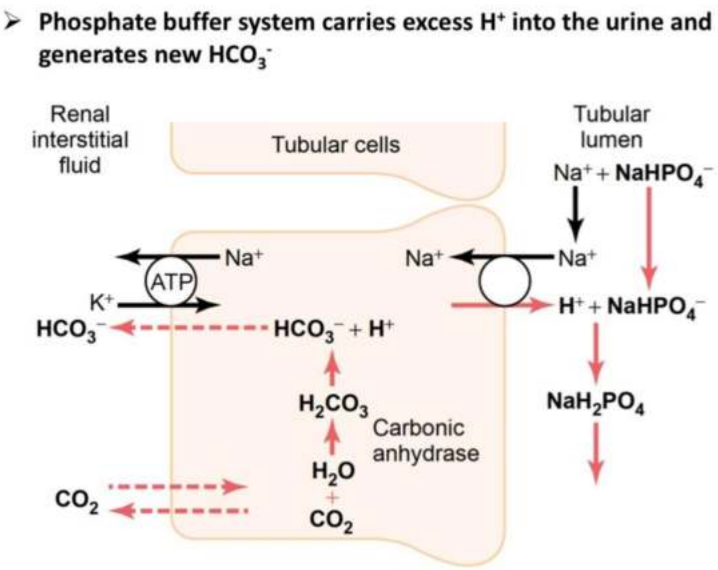
จากที่กล่าวมาแล้วเมื่อจำนวนไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตมากกว่าจำนวนไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสเข้ามาในโพรงท่อไต จะทำให้ไฮโดรเจนไอออนส่วนเกินถูกขับทิ้งทางปัสสาวะ แต่จะมีไฮโดรเจนไอออนส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกขับทิ้งทางปัสสาวะในรูปไฮโดรเจนไอออนอิสระ เหตุผลเนื่องจากไตสร้างน้ำ

ปัสสาวะที่มีค่า pH ต่ำสุดเพียง 4.5 เท่านั้น หรือมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนอิสระในปัสสาวะได้ไม่เกิน 0.03 mEq/l ดังนั้นในทุก 1 ลิตรของน้ำปัสสาวะจะสามารถขับทิ้งไฮโดรเจนไอออนอิสระได้เพียง 0.03 mEq เท่านั้น แต่ร่างกายต้องขับไฮโดรเจนไอออนส่วนเกิน (กรดที่ระเหยไม่ได้, nonvolatile acid) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายประมาณวันละ 80 mEq หากต้องขับกรดส่วนเกินดังกล่าวทิ้งทางปัสสาวะในรูปของไฮโดรเจนไอออนอิสระ ไตจะต้องผลิตน้ำปัสสาวะประมาณวันละ 2,667 ลิตรเลยทีเดียว ในความเป็นจริงนั้นไตสามารถขับทิ้งของไฮโดรเจนไอออนได้มากกว่าวันละ 80 mEq ในบางสภาวะอาจสูงถึงวันละ 500 mEq โดยไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์เข้าสู่โพรงท่อไตจะถูกจับด้วยบัฟเฟอร์ในน้ำกรองซึ่งบัฟเฟอร์ที่สำคัญในน้ำกรอง ได้แก่ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์และแอมโมเนียบัฟเฟอร์นอกจากนี้ยังมีบัฟเฟอร์ชนิดอื่นอีก แต่ไม่มีความสำคัญมากนัก เช่น ยูเรตบัฟเฟอร์และซิเตรทบัฟเฟอร์

เมื่อไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตเข้าสู่โพรงท่อไตจับกับไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ ผลที่ได้คือจะมีการดูดกลับไบคาร์บอเนตจากโพรงท่อไตกลับเข้าสู่กระแสเลือดตามที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ แต่เมื่อไฮโดรเจนไอออนในโพรงท่อไตจับกับบัฟเฟอร์ชนิดอื่นที่ไม่ใช่ไบคาร์บอเนต ผลที่ได้คือ จะเกิดการสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่ขึ้นมาที่เซลล์ท่อไต แล้วไบคาร์บอเนตตัวใหม่ดังกล่าวจะถูกขนส่งเข้าสู่กระแสเลือดต่อไปดังนั้นเมื่อมีความเข้มเข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์สูงกว่าปกตินอกจากไตจะดูดกลับไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสให้หมดแล้ว ไตยังสามารถสร้างไบคาร์บอเนตขึ้นใหม่ได้ด้วย ด้วยเหตุนี้กลไกดังกล่าวจึงเป็นกลไกที่ช่วยชดเชยในภาวะที่ร่างกายมีกรดเกิน ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

**1. ) การสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่และการขับไฮโดรเจนไอออนทิ้งโดยฟอสเฟตบัฟเฟอร์**

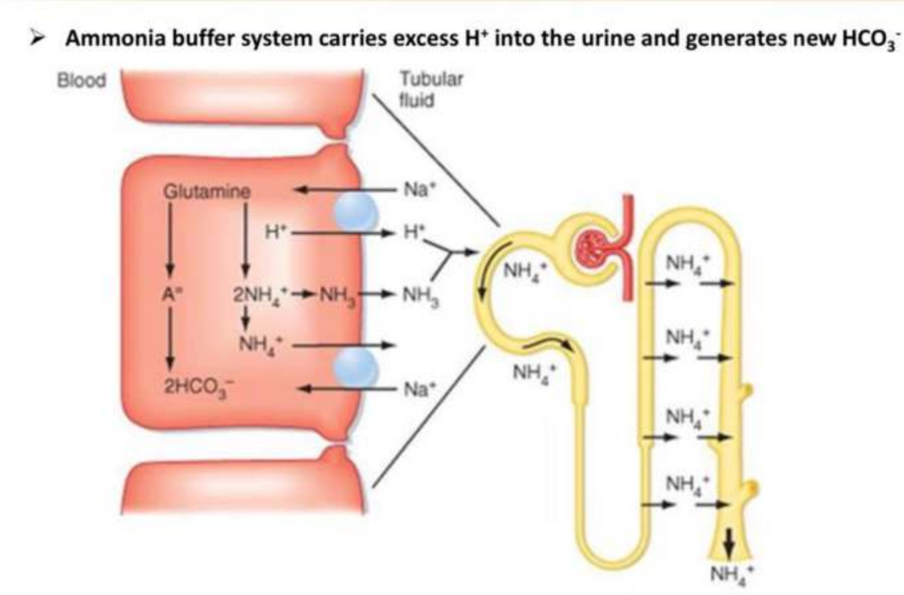
เมื่อเซลล์ท่อไตสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่แต่ละครั้งจะมีการสร้างไฮโดรเจนไอออนขึ้นมาด้วยโดยไบคาร์บอเนตตัวใหม่ที่สร้างขึ้นมาจะถูกเติมเข้าสู่กระแสเลือดส่วนไฮโดรเจนไอออนที่สร้างขึ้นใหม่จะถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตไปจับกับฟอสเฟสบัฟเฟอร์ ($HPO_4^{2-}$) ในโพรงท่อไตได้เป็นกรดฟอสฟอริก ($H_2PO_4$) แล้วถูกขับทิ้งทางปัสสาวะในรูปของโมโนโซเดียมฟอสเฟต ($NaH_2PO_4$) เนื่องจากเราสามารถวัดหาปริมาณกรดฟอสฟอริกในปัสสาวะด้วยวิธีการไทเทรต (titration) จึงอาจเรียกการขับทิ้งไฮโดรเจนไอออนในรูปแบบนี้ว่ากรดไทเทรเทเบิล (titratable acid) อย่างไรก็ตามในสภาวะปกติปริมาณของฟอสเฟตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสมายังโพรงท่อไตจะมีค่าประมาณวันละ 30-40 mEg ซึ่งจะสามารถบัฟเฟอร์ไฮโดรเจนไอออนได้วันละ 30-40 mEq เท่านั้นดังนั้นหากเกิดภาวะกรดเกินในร่างกายแอมโมเนียบัฟเฟอร์จึงเป็นระบบบัฟเฟอร์ที่สำคัญที่ไตใช้ในการขับทิ้งกรดส่วนเกินออกจากร่างกาย




**2. ) การสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่และการขับไฮโดรเจนไอออนทิ้งโดยแอมโมเนียบัฟเฟอร์**

แอมโมเนียมไอออน ($NH_4^+$) ถูกสร้างจากกระบวนการเผาผลาญของกลูตามีน โดยเซลล์เอพิธีเลียมของท่อไตทุกส่วน โดยเฉพาะเซลล์เอพิธีเลียมของท่อไตส่วนต้น กลูตามีนเกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนในตับแล้วถูกขนส่งมายังเซลล์ท่อไต ในทุกหนึ่งโมเลกุลของกลูตามีนที่ถูกเผาผลาญแล้วสุดท้ายจะได้แอมโมเนียมสองโมเลกุล ($2NH_4^+$) และไบคาร์บอเนตสองโมเลกุล ($2HCO_3^-$) จากนั้นไบคาร์บอเนตที่สร้างขึ้นใหม่นี้จะถูกขนส่งออกจากเซลล์ท่อไตทางฝั่ง basolateral membrane และเติมเข้าสู่กระแสเลือดส่วนแอมโมเนียมจะถูกขับออกออกจากเซลล์เข้าโพรงท่อไตด้วยวิธี $Na^+$-$NH_4^+$ exchanger หรือแอมโมเนียมอาจแตกตัวเป็นแอมโมเนียและไฮโดรเจนไอออน ซึ่งแอมโมเนียจะแพร่จากเซลล์เข้าโพรงท่อไตได้โดยตรงส่วนไฮโดรเจนไอออนจะถูกขับออกสู่โพรงท่อไตด้วยวิธี $Na^+$ $H^+$ exchanger เมื่อเข้าสู่โพรงท่อไตแอมโมเนียจะจับกับไฮโดรเจนไอออนกลับเป็นแอมโมเนียมตามเดิมดังแสดง

แอมโมเนียมที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตส่วนต้นเข้าสู่โพรงท่อไตจะถูกดูดกลับบริเวณท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นส่วนหนา แล้วถูกขนส่งออกจากเซลล์เข้าสู่เนื้อไตในเนื้อไต แอมโมเนียมบางส่วนจะแตกตัวเป็นแอมโมเนียและไฮโดรเจนไอออนจากนั้นแอมโมเนียม/แอมโมเนียและไฮโดรเจนไอออนในเนื้อไตจะถูกขนส่งเข้าเซลล์ท่อไตบริเวณท่อไตรวม เมื่อเข้าสู่เซลล์ท่อไตรวมแอมโมเนียมจะแตกตัวตัวแอมโมเนียและไฮโดรเจนไอออนทั้งหมดจากนั้นแอมโมเนียจะแพร่ออกจากเซลล์เข้าสู่โพรงท่อไตส่วนไฮโดรเจนไอออนจะถูกขับออกจาก alpha intercalated cell เข้าสู่โพรงท่อไตด้วยวิธี $H^+$ ATPase pump เมื่อเข้าสู่โพรงท่อไตแอมโมเนียจะรวมกับไฮโดรเจนไอออนกลายเป็นแอมโมเนียมแล้วถูกขับทิ้งทางปัสสาวะ จึงสรุปได้ว่า เมื่อมีการขับทิ้งแอมโมเนียมทางปัสสาวะหนึ่งโมเลกุลจะเกิดการสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่แล้วเติมเข้าสู่กระแสเลือดหนึ่งโมเลกุลเช่นกัน




ในภาวะปกติปริมาณของไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับทิ้งโดยระบบแอมโมเนียบัฟเฟอร์จะคิดเป็นประมาณร้อยละ 50 ของไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับทิ้งทางไตทั้งหมดและการขับทิ้งกรดโดยวิธีนี้จะเกิดการสร้างไบคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 50 ของจำนวนไบคาร์บอเนตที่สร้างขึ้นใหม่ด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามในภาวะที่ร่างกายเกิด chronic acidosis การขับทิ้งไฮโดรเจนไอออนทางไตสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึงวันละ 500 mEq เนื่องภาวะ chronic acidosis มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์สูงขึ้น ซึ่งจะมีผลกระตุ้นกระบวนการเผาผลาญกลูตาเมตเพื่อสร้างแอมโมเนียมและไบคาร์บอเนตขึ้นมาใหม่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่และการขับไฮโดรเจนไอออนทั้งโดยแอมโมเนียบัฟเฟอร์เป็นกลไกที่สำคัญในการชดเชยของร่างกายเมื่อเกิดภาวะ chronic acidosis และเราสามารถประเมินการทำงานของไตในการชดเชยต่อภาวะ chronic acidosis โดยการวัดปริมาณแอมโมเนียมในน้ำปัสสาวะซึ่งหากผู้ป่วยมีภาวะ chronic acidosis พร้อมกับมีปริมาณแอมโมเนียมในปัสสาวะสูงจะแสดงว่าไตสามารถสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่และขับกรดทิ้งในรูปแอมโมเนียมได้ดีอยู่

**6.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการขับออกไฮโดรเจนไอออนและการดูดกลับไบคาร์บอเนตโดยท่อไต**

จากที่กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้คือ เมื่อมีการขับออกไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์อิพิทีเลียมของท่อไตเข้าสู่โพรงท่อไตจะมีผลโดยตรงการดูดกลับไบคาร์บอเนตและการสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่ขึ้นมาด้วย ดังนั้นการทำงานของไตเพื่อรักษาสมดุลกรด-ด่างจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมอัตราการขับออกของไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพรงท่อไตให้มีความเหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของกรดหรือด่างในร่างกาย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพงท่อไตมีดังนี้

1. ) ค่าความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง ($PaCO_2$) เมื่อร่างกายเกิดภาวะ respiratory acidosis ค่า $PaCO_2$ สูงขึ้นจะมีผลโดยตรงต่อเซลล์ท่อไตให้ขับออกไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น

2. ) ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์เมื่อเกิดภาวะ metabolic acidosis ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์สูงขึ้น (หรือค่า pH ที่ของเหลวนอกเซลล์ลดลง) จะมีผลโดยตรงต่อเซลล์ท่อไตให้ขับออกไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น

3. ) ระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน เมื่อระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนสูงขึ้นจะกระตุ้น alpha intercalated cells บริเวณท่อไตรวมให้ขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพรงท่อไตมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยกลุ่ม primary

hyperaldosteronism หรือ Conn's Syndrome ผู้ป่วยกลุ่มนี้จะมีระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนสูงกว่าปกติ ทำให้ท่อไตรวมดูดกลับโซเดียมและขับออกโพแทสเซียมเพิ่ม เมื่อท่อไตรวมขับออกโพแทสเซียมมากกว่าปกติจะเกิดภาวะ hypokalemia ตามมาซึ่งภาวะ hypokalemia นี้เองจะกระตุ้นการดูดกลับโพแทสเซียมและขับออกไฮโดรเจนไอออนที่ alpha intercalated cells ด้วยวิธี $H^+$-$K^+$ ATPases pump จากผลการขับออกไฮโดรเจนไอออนจึงทำให้มีการเติมไบคาร์บอเนตเข้าสู่กระแสเลือดมากขึ้น ผู้ป่วยกลุ่มนี้จึงมักมีอาการ metabolic alkalosis ร่วมด้วย

4. ) ระดับ angiotensin II เนื่องจาก angiotensin II มีฤทธิ์โดยตรงต่อกระบวนการ $Na^+$ $H^+$ exchangers บริเวณท่อไตส่วนต้นดังนั้นเมื่อระดับ angiotensin II สูงขึ้นจึงมีผลโดยตรงในการเพิ่มการขับออกไฮโดรเจนไอออน

5. ) ปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์ ในภาวะที่ร่างกายขาดน้ำหรือมีปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์ลดลง จะกระตุ้นการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไต รวมทั้งกระตุ้น $Na^+$ $H^+$ exchangers ด้วย จึงทำให้ท่อไตขับออกไฮโดรเจนไอออนและดูดกลับไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น

**4.3 ความผิดปกติของสมดุลกรด-ด่างที่เกิดขึ้นในร่างกาย**

ในสภาวะปกติร่างกายจะรักษาระดับ pH ของของเหลวนอกเซลล์ให้คงที่โดยอยู่ในช่วง 7.35-7.45 ดังนั้นถ้า pH มีค่าน้อยกว่า 7.35 แสดงว่าเกิดภาวะเลือดเป็นกรด (acidosis) ในทางตรงกันข้ามเมื่อ pH มีค่ามากกว่า 7.45 แสดงว่าเกิดภาวะเลือดเป็นด่าง (alkaosis) สามารถแบ่งความผิดปกติของสมดุลกรด-ด่างตามสาเหตุการเกิดได้ 4 ประเภทดังนี้

1. ) ภาวะกรดเกินจากการหายใจ (Respiratory acidosis) เป็นภาวะกรดเกินที่เกิดจากความผิดปกติของระบบหายใจเป็นผลจากการระบายอากาศ (ventilation) ลดลงแล้วทำให้ค่า $PaCO_2$ ในของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้นเมื่อ $PaCO_2$ สูงขึ้นจะส่งผลให้ความเข้มข้นของไอโดนเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้นและ pH มีค่าต่ำกว่าปกติ ภาวะกรดเกินจากการหายใจสามารถเกิดขึ้นได้จากสาเหตุต่อไปนี้ การบาดเจ็บของระบบประสาทที่ควบคุมการหายใจแล้วทำให้อัตราการหายใจช้าลงหรืออาจเกิดจากความสามารถของปอดในกาก้าจัด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เช่น ผู้ป่วยที่มีภาวะทางเดินหายใจอุดกลั้น ภาวะปอดบวม ภาวะถุงลมโป่งพอง หรือปัจจัยอื่นที่มีผลไปลดการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างถุงลมกับหลอดเลือดฝอยในปอด ก็อาจเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะกรดเกินจากการหายใจได้ เมื่อเกิดภาวะกรดเกินจากการหายใจร่างกายจะชดเชยโดย (1) ระบบบัฟเฟอร์ที่อยู่ในของเหลวของร่างกายและ (2) การทำงานของระบบไตในการขับไฮโดรเจนไอออนทิ้งและสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่ แต่การทำงานของระบบไตนั้นอาจใช้เวลาหลายวันเพื่อชดเชยความผิดปกติดังกล่าว

2) ภาวะด่างเกินจากการหายใจ (Respiratory alkalosis) เป็นภาวะด่างเกินที่เกิดจากความผิดปกติของระบบหายใจเป็นผลจากการเพิ่มการระบายอากาศของปอดแล้วทำให้ค่า $PaCO_2$ ในของเหลวนอกเซลล์ลดลงเมื่อ $PaCO_2$ ต่ำกว่าปกติจะส่งผลให้ความเข้มข้นของไอโดนเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์ลดลงและ pH มีค่าสูงกว่าปกติ ภาวะด่างเกินจากการหายใจอาจมีสาเหตุจากการกระตุ้นศูนย์ควบคุมการหายใจ ยกตัวอย่างเช่น เมื่ออยู่ในที่สูง (high attitude) ซึ่งมีออกซิเจนเบาบางจะให้ค่าความดันย่อยของออกซิเจนในเลือด ($PaO_2$) ลดลงจึงเกิดกระตุ้นศูนย์ควบคุมการหายใจ ทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกขับทิ้งออกมากกว่าปกติ ทำให้ค่า $PaCO_2$ ลดลงและเกิดภาวะด่างเกินจากการหายใจตามมา หรืออาจเกิดจากการใช้ยาบางชนิดที่มีผลกระตุ้นการทำงานของศูนย์ควบคุมการหายใจ เมื่อเกิดภาวะด่างเกินจากการหายใจร่างกายจะชดเชยโดย (1) ระบบบัฟเฟอร์ทางเคมีที่อยู่ในของเหลวของร่างกายและ (2) การทำงานของระบบไตในการเพิ่มการขับทิ้งไบคาร์บอเนตส่วนเกิน

3. ) ภาวะกรดเกินจากเมแทบอลิซึม (Metabolic acidosis) ภาวะกรดเกินจากเมแทบอลิซึมหมายถึง ภาวะกรดเกินที่เกิดจากสาเหตุอื่น ๆ ยกเว้นกรดเกินที่เกิดจากระดับ $PaCO_2$ สูงกว่าปกติ ภาวะนี้จะส่งผลให้ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในของเหลวนอกเซลล์ต่ำกว่าค่าปกติ และส่งผลให้ค่า pH ในเลือดลดลงภาวะกรดเกินจากเมแทบอลิซึมอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

3.1) การขับทิ้งกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายโดยระบบไตล้มเหลว เช่น ในผู้ป่วยโรคไตวายเรื้อรังความสามารถของท่อไตในการขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพรงท่อไตหรือการดูดกลับไบคาร์บอเนตจะลดลง รวมทั้งกระบวนการสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่โดยการทำงานของเซลล์ท่อไตก็ลดลงเช่นกัน จึงทำให้กรดที่ร่างกายสร้างขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมไม่สามารถขับทิ้งออกทางไตได้ จึงเกิดภาวะกรดเกินจากเมแทบอลิซึมหรือที่เรียกเฉพาะว่า renal tubular acidosis

3.2) ร่างกายมีการสร้างกรดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมเพิ่มขึ้นเช่นในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 1 ที่ลืมฉีดอินซูลินรวมทั้งผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่มีระดับอินซูลินลดลงภาวะดังกล่าวร่างกายไม่สามารถสร้างพลังงานจากน้ำตาลกลูโคสได้ ดังนั้นร่างกายจึงเปลี่ยนมาสร้างพลังงานจากการสลายไขมันทำให้เกิดการสร้างคีโตนเพิ่มขึ้นและระดับคีโตนในเลือดสูงขึ้นแล้วเกิดภาวะ Diabetic Ketoacidosis ตามมา

4. ) ภาวะด่างเกินจากเมแทบอลิซึม (Metabolic alkalosis) เป็นผลมาจากร่างกายมีความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในของเหลวนอกเซลล์มากกว่าปกติ ส่งผลให้ค่า pH ในเลือดเพิ่มขึ้น ภาวะด่างเกินจากเมแทบอลิซึมอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

4.1) การอาเจียนที่สูญเสียกรดจากกระเพาะอาหาร ทำให้เกิดการสูญเสียกรดจากของเหลวนอกเซลล์และเกิดภาวะด่างเกินตามมา

4.2) ระดับฮอร์อัลโดสเตอโรนสูงกว่าปกติ ยกตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยกลุ่ม primary hyperaldosteronism ผู้ป่วยกลุ่มนี้จะมีระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนสูงกว่าปกติ ทำให้ท่อไตรวมดูดกลับโซเดียมและขับออกโพแทสเซียมเพิ่ม เมื่อท่อไตรวมขับออกโพแทสเซียมมากกว่าปกติจะเกิดภาวะ hypokalemia ตามมาซึ่งภาวะ hypokalemia นี้เองจะกระตุ้นการทำงานของ alpha intercalated cells ที่บริเวณท่อไตรวมให้ดูดกลับโพแทสเซียมและขับออกไฮโดรเจนไอออนด้วยวิธี $H^+$-$K^+$ ATPases pump จากผลการขับออกไฮโดรเจนไอออน จึงทำให้มีการเติมไบคาร์บอเนตเข้าสู่กระแสเลือดมากขึ้น จึงทำให้ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในของเหลวนอกเซลล์มากกว่าปกติและเกิดภาวะด่างเกินตามมา

4.3) มีการเติมด่างเข้าไปในร่างกาย ยกตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยโรคกระเพาะอาหารที่รับยากลุ่ม sodium bicarbonate มากเกินไปส่งผลให้ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้น เมื่อเกิดภาวะด่างเกินจากเมแทบอลิซึมร่างกายจะชดเชยโดย (1) ระบบบัฟเฟอร์ทางเคมีที่อยู่ในของเหลวของร่างกาย (2) การทำงานของระบบหายใจโดยการลดการระบายอากาศและ (3) การทำงานของไตโดยท่อไตจะลดการดูดกลับไบคาร์บอเนตและลดการขับออกไฮโดรเจนไอออน

เอกสารอ้างอิง

พงศธร ดชเสนี. (2560). Fluid, Electrolyte and Acid-Base Disorder. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัทเท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่นจำกัด.

รำแพน พรเทพเกษมสันต์. (2556). *กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์.* (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ศิลปาบรรณาคาร

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา. สราวุธ บรรบุผา. (2562).

เอกสารประกอบคำสอนรายวิชา สรีรวิทยาของมนุษย์สำหรับวิทยาศาสตร์สุขภาพ เรื่อง สมดุลน้ำ อิเล็กโทรไลต์ และกรด-ด่างในร่างกาย. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศชาย
(Anatomy and Physiology of Male Reproductive system)

**จำนวนชั่วโมง** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศชาย
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกหน้าที่ของระบบสืบพันธุ์เพศชายได้อย่างถูกต้อง
2. บอกหน้าที่ของอัณฑะได้อย่างถูกต้อง
3. บอกหน้าที่ของเซลล์ในอัณฑะได้อย่างถูกต้อง
4. เรียงลำดับท่อ accessory ducts ได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายส่วนต่างๆ ของท่อปัสสาวะได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายโครงสร้างและส่วนประกอบของ penis ได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายกายวิภาคของต่อมลูกหมากได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายขั้นตอนการสร้างเชื้ออสุจิได้อย่างถูกต้อง
9. อธิบายคุณสมบัติของน้ำอสุจิ
10. อธิบายกลไกการออกฤทธิ์ของเทสทอสเตอโรน
11. อธิบายหน้าที่ของฮอร์โมนเพศชาย
12. อธิบายกลไกการควบคุมการทำงานของอัณฑะ
13. อธิบายกลไกการแข็งตัวขององคชาต

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน

3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจตคติในการเรียนการสอน

# 11

**************************************

# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศชาย
# (Anatomy and Physiology of Male Reproductive system)

**ตอนที่ 1 โครงสร้างของระบบสืบพันธุ์เพศชาย**

1.1 อัณฑะ (Testis)

1.2 ระบบท่อต่างๆ (Accessory ducts)

1.2.1 Straight seminiferous tubule

1.2.2 Rete testis

1.2.3 Efferent ductule

1.2.4 Epididymis

1.2.5 Ductus deferens

1.2.6 Ejaculatory duct

1.2.7 Urethra

1.3 ต่อมที่เกี่ยวข้อง (Accessory glands)

1.4 องคชาต (Penis)

**ตอนที่ 2 หน้าที่ของระบบสืบพันธุ์เพศชาย**

2.1 การสร้างเชื้ออสุจิ (Spermatogenesis)

2.1.1 ขั้นตอนการสร้าง

2.1.2 การพัฒนาเป็นเชื้ออสุจิ

2.1.3 การเจริญเต็มวัยของอสุจิ

2.1.4 น้ำอสุจิ

2.2 ฮอร์โมนเพศชาย

2.2.1 กลไกการออกฤทธิ์ของ testosterone

2.2.2 หน้าที่ของฮอร์โมนเพศชาย

2.3 การควบคุมการทำงานของอัณฑะ

2.4 การแข็งตัวของอวัยวะองคชาต

# บทที่ 11
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศชาย
# (Anatomy and Physiology of Male Reproductive system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ.
วทม. (สรีรวิทยา)

ระบบสืบพันธุ์เพศชาย ประกอบด้วยอวัยวะที่อยู่ภายนอกร่างกายและรอบๆ บริเวณเชิงกราน มีหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ การสร้างเชื้ออสุจิ และฮอร์โมนเพศชาย

## ตอนที่ 1
## โครงสร้างของระบบสืบพันธุ์เพศชาย

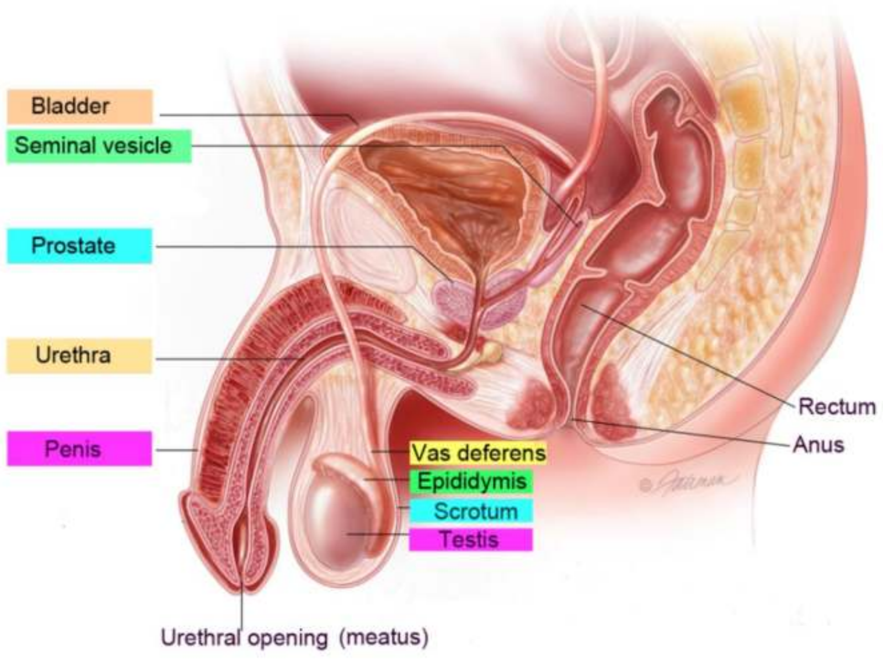
อวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

**1. Testis (อัณฑะ)** ทำหน้าที่ผลิตอสุจิ (sperm) และสร้างฮอร์โมนเพศชาย คือ testosterone

**2. Accessory glands (ต่อมที่เกี่ยวข้อง)** ได้แก่ ถุงน้ำอสุจิ (seminal vesicle), ต่อมลูกหมาก (prostate gland) และต่อมคาวเปอร์ (Cowper's gland หรือ Bulbourethral glands) ต่อมสร้างน้ำเมือกเพื่อนำอสุจิไปสู่องคชาต (penis) น้ำเมือกที่สร้างเมื่อรวมกับอสุจิ จะเรียกว่า semen

**2. Accessory ducts (ระบบท่อต่างๆ)** ทำหน้าที่เก็บและนำน้ำอสุจิ (semen) ไปสู่องคชาต ได้แก่ ท่อพักเชื้ออสุจิ (epididymis) หลอดนำเชื้ออสุจิ (vas deferens, ductus deferens) และท่อหลั่งน้ำอสุจิ (ejaculatory duct)

**4. Penis (อวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย)** เป็นอวัยวะนำน้ำอสุจิเข้าสู่ช่องคลอดในระหว่างมีเพศสัมพันธ์




รูปที่ 11-1 แสดงกายวิภาคของระบบสืบพันธุ์เพศชาย

## 1.1 อัณฑะ (Testis)

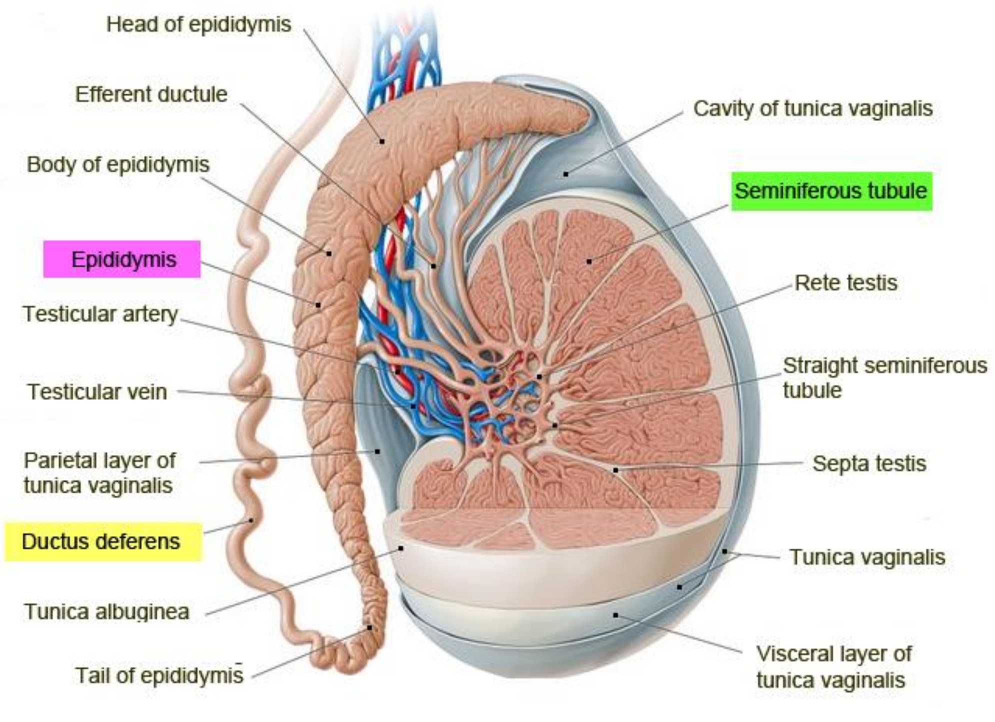
เป็นอวัยวะสืบพันธุเพศชาย ทำหน้าที่สร้าง sperm หรือ spermatozoa ในระหว่างที่มีการเจริญของทารกในครรภ์ ลูกอัณฑะจะเลื่อนลงมาอยู่ในช่องตรงขาหนีบ (inguinal canal) ต่อมาเดือนที่ 7 จะเลื่อนลงมาอยู่ในถุงอัณฑะ (scrotum) ซึ่งเป็นที่อยู่ตามปกติของลูกอัณฑะเนื่องจากลูกอัณฑะอยู่ในถุงอัณฑะ ซึ่งอยู่ภายนอกร่างกาย ดังนั้น อุณหภูมิภายในถุงอัณฑะจึงต่ำกว่าอุณหภูมิร่างกายประมาณ 3 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการสร้าง sperm และการดำรงชีวิตของ sperm

อัณฑะ มี 1 คู่ ในถุงหุ้มอัณฑะ มีรูปร่างเป็นรูปไข่ ผู้ใหญ่มีน้ำหนักประมาณ 10-14 กรัม มีขนาดประมาณ 5X2.5X2 ซม. อัณฑะมีแคปซูลหุ้ม 3 ชั้น ดังนี้

**1. ชั้นนอก (visceral layer of tunica vaginalis)** จะหุ้มเฉพาะด้านหน้าและด้านข้าง แล้ววกกลับไปเป็น parietal layer

**2. ชั้นกลาง (tunica albuginea)** เป็นชั้นของเนื้อเยื่อพังผืดหนาและเหนียว จะเห็นเป็นสีขาวหุ้มรอบอัณฑะ เนื้อเยื่อชั้นนี้จะยื่นเข้าไปในลูกอัณฑะ แบ่งอัณฑะเป็นกลีบๆ

**3. ชั้นใน (tunica vasculosa)** เป็นเนื้อยึดต่อหลวมๆ แคบๆ อยู่ใต้ต่อ tunica albuginea มีหลอดเลือดทอดอยู่ และแตกแขนงมากมาย แล้วทอดเข้าไปเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อภายในอัณฑะ




รูปที่ 11-2 แสดงกายวิภาคของอัณฑะ (Testis)

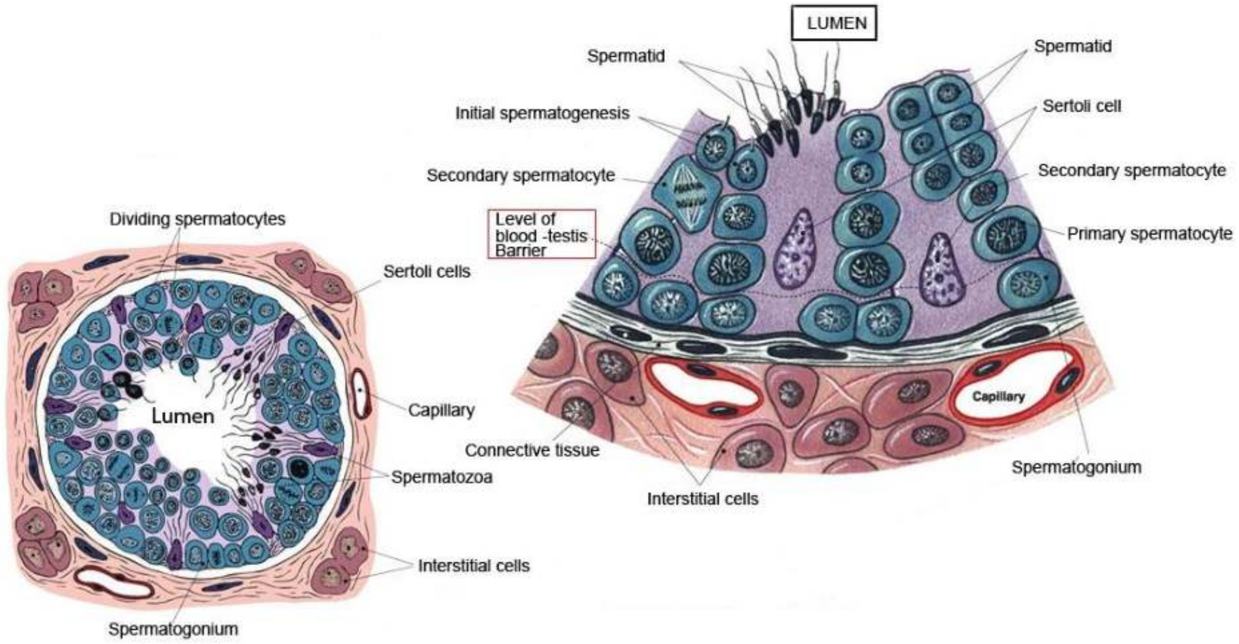
.

ภายในอัณฑะ แต่ละข้างประกอบด้วยหลอดสร้างอสุจิ หรือ ท่อเซมินิเฟอรัส (seminiferous tubules) ข้างละประมาณ 800 ท่อ เมื่อรวมความยาวของท่อนี้ทั้ง 2 ข้างจะได้ประมาณ 225 เมตร ผนังของ semiferous tubules จะบุด้วย germinal tissue ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิดได้แก่ spermatogenic cells และ sustentacular (Sertoli) cells

**Spermatogenic cells** ประกอบด้วย spermatogonia, spermatocytes และ spermatids ซึ่งจะเจริญต่อไปเป็น mature sperm (เชื้ออสุจิ) ขบวนการเจริญเป็น mature sperm เรียกว่า spermatogenesis

**Sustentacular cells (Sertoli cells)** เซลล์เซอร์โตลีเป็นเซลล์ทรงสูง มีขอบเขตของเซลล์จากเยื่อฐานเซลล์ไปจนถึงโพรงของท่อ บริเวณของเซลล์แต่ละเซลล์ซึ่งมาอยู่ชิดกันมากทำให้เกิด เป็นจุดเชื่อมอย่างแน่น การเรียงตัวของเซลล์เซอร์โทลีเปรียบเสมือนชั้นกั้นระหว่างเลือดและอัณฑะ (Blood-testis barrier) เซลล์เซอร์โตลี มีหน้าที่เป็นเซลล์พี่เลี้ยงช่วยเตรียมอาหารไว้เลี้ยงเซลล์ต้นกำเนิดของเชื้ออสุจิ, สร้างและหลั่งโปรตีนที่สำคัญต่อกระบวนการสร้างเชื้ออสุจิ เช่น ceruloplasmin และ transferrin, ช่วยเปลี่ยนแอนโดรเจนให้เป็นเอสโทรเจนซึ่งมีผลต่อกระบวนการสร้างเชื้ออสุจิ, สร้างและหลั่งอินฮิบินเพื่อมาควบคุมการหลั่ง FSH, สร้าง androgen-binding protein (ABP) เพื่อจับกับแอนโดรเจน, กินเซลล์ต้นกำเนิดของเชื้ออสุจิและเชื้ออสุจิที่ตายแล้ว

**Leydig cells (เซลล์ไลดิก)** เป็นเซลล์ที่แทรกอยู่ระหว่างท่อเซมินิเฟอรัส และเป็นเซลล์ชนิดเดียวในอัณฑะที่มีตัวรับสัญญาณสำหรับ LH (LH receptor) ทำหน้าที่สร้างหลั่งฮอร์โมนเพศชาย คือ Androgens และที่สำคัญที่สุด คือ testosterone ซึ่งมีผลต่อการสร้างเชื้ออสุจิและการพัฒนาอวัยวะของเพศชาย




รูปที่ 11-3 แสดงโครงสร้างภายในของท่อเซมินิเฟอรัส

## 1.2 ระบบท่อต่างๆ (Accessory ducts)

อสุจิที่สร้างจากอัณฑะ จะถูกนำเข้าสู่ penis โดยระบบท่อต่างๆ เรียงลำดับ ดังนี้ Straight seminiferous tubule (tubuli recti), Rete testis, Efferent ductule, Head of epididymis, Ductus deferens (vas deferens) และ Ejaculatory duct ตามลำดับ (ดูรูปที่ 11-2)

**1.2.1 Straight seminiferous tubule** ลักษณะเป็นท่อตรง ทำหน้าที่รับอสุจิที่จาก convoluted seminiferous tubule ส่งไป rete testis

**1.2.2 Rete testis** ลักษณะเป็นท่อแตกแขนงเป็นร่างแห ทำหน้าที่ รับspermatozoa ต่อจาก straight seminiferous tubule เพื่อส่งไป efferent ductile

**1.2.3 Efferent ductule** ลักษณะเป็นท่อเล็กๆ 10-20 ท่อ มีกล้ามเนื้อหุ้ม เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวจะบีบไล่อสุจิเข้าสู่ epididymis

**1.2.4 Epididymis (ท่อพักเชื้ออสุจิ)** เป็นก้อนที่ประกอบด้วยท่อขดไปมารูปร่างเป็นตัว C วางพาดอยู่บนอัณฑะ epididymis ประกอบด้วยท่อเดียว ยาวประมาณ 6 เมตร ประกอบด้วยส่วนหัว (head), ส่วนตัว (body) และส่วนหาง (tail) อยู่ตรงส่วนล่างสุดของอัณฑะ ซึ่งท่อจะขดตัวน้อยลง แล้วย้อนกลับขึ้นไปเป็น ductus deferens

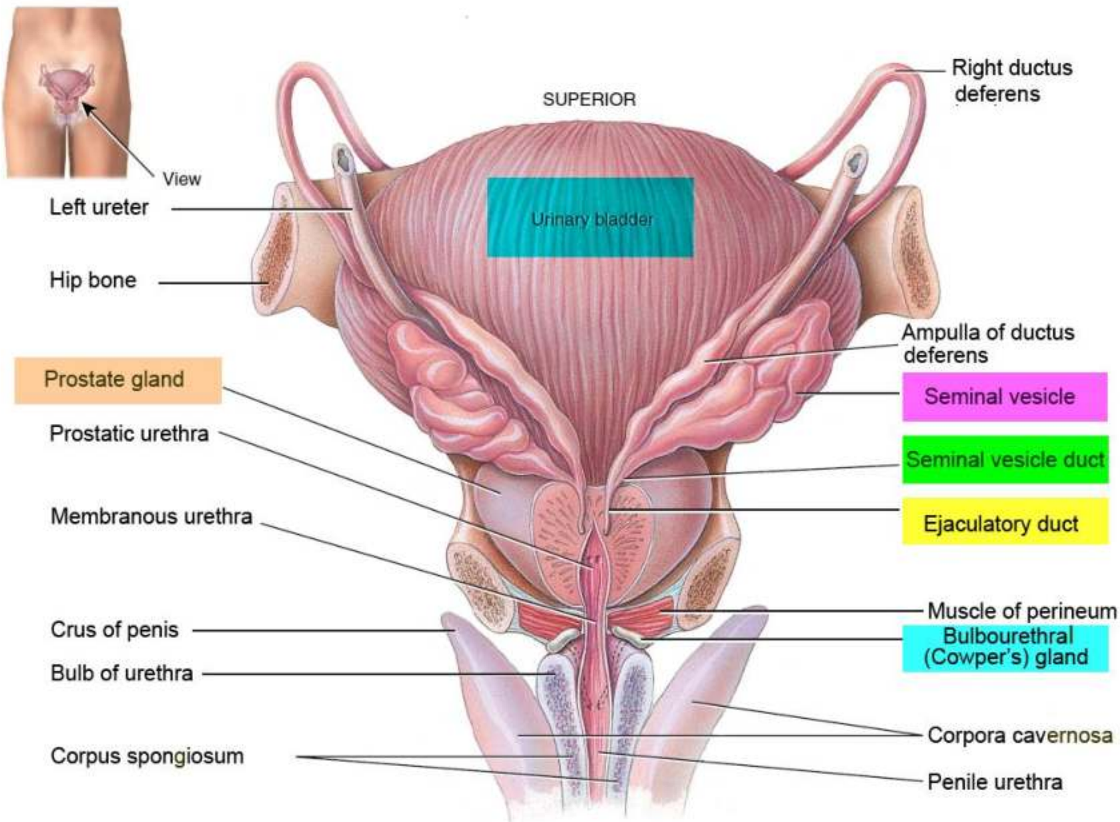
Epididymis มีหน้าที่สำคัญ ดังนี้

1. เก็บอสุจิไว้ จนกว่าจะเจริญเต็มที่ แล้วพร้อมที่จะหลั่งออกไป
2. เป็นทางผ่านของอสุจิ จาก testis ถึง ejaculatory duct
3. บีบไล่อสุจิไปสู่ penis โดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่อยู่รอบๆ ท่อ

เชื้ออสุจิที่เดินทางผ่าน epididymis อาจใช้เวลา 10 วัน หรืออาจยาวนานถึง 4-5 สัปดาห์ จนกระทั่งเชื้ออสุจิเจริญเติบโตเต็มที่ อสุจิที่ยังไม่มีการขับออกจะเสื่อมสลายไป

**1.2.5 Ductus deferens หรือ Vas deferens (ท่อน้ำเชื้ออสุจิ)** Ductus deferens เป็นท่อที่ต่อจาก epididymis ยาวประมาณ 45 ซม. ไปสิ้นสุดที่ ejaculatory duct ทางเดินของ ductus deferens จะออกจาก epididymis เข้ามาอยู่ใน spermatic cord ผ่าน inguinal canal แล้วผ่านไปทางด้านหลังของกระเพาะปัสสาวะทอดคู่ไปกับต่อม seminal vesicle แล้วไปเปิดเข้าสู่ ejaculatory duct ขณะที่ทอดคู่กับ seminal vesicle จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ampulla

Ductus deferens มีผนังกล้ามเนื้อเรียบ 3 ชั้น มีเส้นประสาทซิมพาเทติกมาสิ้นสุดที่กล้ามเนื้อเรียบนี้ การกระตุ้นประสาทซิมพาเทติกส่วนนี้ จะทำให้เกิดการบีบตัวและทำให้อสุจิเคลื่อนตัวไปสู่ ejaculatory duct กล้ามเนื้อเรียบของ ductus deferens มีความหนามาก สามารถคลำผ่านถุงอัณฑะได้เป็นแท่ง จึงมีประโยชน์อย่างมากในการทำหมันชาย




รูปที่ 11-4 ด้านหลังของกระเพาะปัสสาวะ แสดง seminal vesicle, prostate gland, และ bulbourethral gland

**1.2.6 Ejaculatory duct (ท่อฉีดอสุจิ)** ส่วนปลาย ampulla ของ ductus deferens จะต่อกับปลายของ seminal vesicle กลายเป็นท่อที่เรียกว่า ejaculatory duct มีความยาวประมาณ 2 ซม. ทอดผ่านต่อมลูกหมากแล้วไปเปิดที่ท่อปัสสาวะ

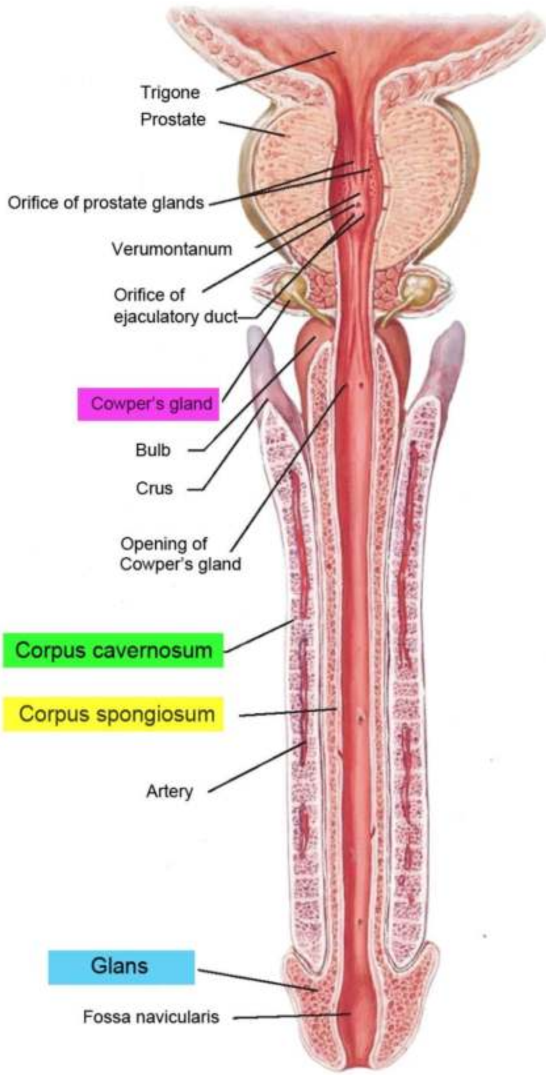
**1.2.7 Urethra (ท่อปัสสาวะ)** ท่อปัสสาวะเริ่มต้นจากกระเพาะปัสสาวะ ผ่านต่อมลูกหมาก แล้วเข้าไปอยู่ในองคชาต ในระบบสืบพันธุ์ท่อปัสสาวะทำหน้าที่เป็นท่อทางผ่านของอสุจิออกสู่ภายนอก ท่อมีความยาวประมาณ 20 ซม. แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

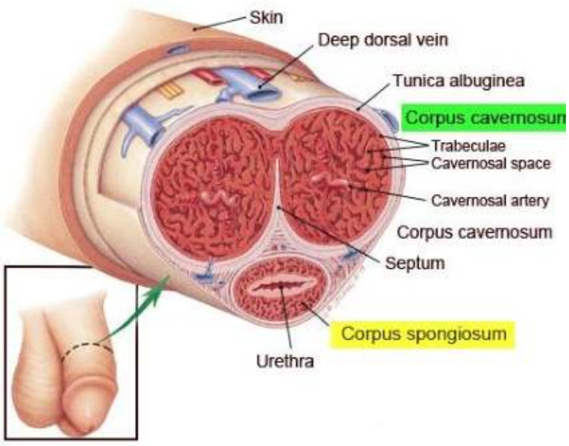
**1) Prostatic part** ยาวประมาณ 3-4 ซม. ทางเดินอยู่ในต่อมลูกหมากจากคอของกระเพาะปัสสาวะ ถึง apex ของต่อมลูกหมาก

**2) Membranous part** เป็นส่วนที่สั้นที่สุด ยาวประมาณ 1 ซม. ทอดผ่านและมีกล้ามเนื้อลายของ urogenital diaphragm มาล้อมรอบเป็นหูรูดชั้นนอก

**3) Penile part** ส่วนที่ยาวที่สุด ยาวประมาณ 15 ซม. ทอดยาวไปอยู่ใน corpus spongiosum ขององคชาต และที่ปลายองคชาต ท่อนี้จะขยายใหญ่ เรียกว่า fossa navicularis เปิดออกภายนอก

**1.2.8 องคชาต (Penis)** Penis มีหน้าที่ 2 อย่าง คือ เป็นทางผ่านของน้ำปัสสาวะ และน้ำอสุจิในขณะร่วมเพศ องคชาตประกอบด้วยเนื้อเยื่อพรุนคล้ายฟองน้ำที่เรียกว่า spongy erectile tissue ซึ่งจะถูกหุ้มและยึดด้วยเนื้อเยื่อเส้นใย และหุ้มภายนอกด้วยพังผืดและผิวหนังตามลำดับ Spongy erectile tissue มี 3 แห่ง ดังนี้




รูปที่ 11-5 แสดงกายวิภาคของ penis (A) และภาพตัดขวางของ penis (B)

**1. Corpus cavernosa** 2 แท่ง (corpus cavernosum = เอกพจน์) อยู่ด้านบน ประกอบด้วยโพรงหลอดเลือดเป็นจำนวนมาก เรียกว่า venous sinusoid ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการแข็งตัวของอวัยวะเพศ

**2. Corpus spongiosum** 1 แท่ง อยู่ด้านล่าง ซึ่งภายในแท่งนี้ มีท่อปัสสาวะส่วน penile urethra ทอดผ่าน ส่วนปลายสุดของ corpus spongiosum จะบานออก เรียกว่า glans penis หนังที่หุ้ม glans penis เรียกว่า prepuce ขอบของ glans penis เรียกว่า corona เป็นบริเวณที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยงมาก ใต้ต่อ corona มี frenulum ซึ่งมีต่อมที่สร้างไขมันมาก ไขมันเหล่านี้เมื่อผสมกับเซลล์ที่ตายหลุดล่วง จะให้สารเหนียวๆ คล้ายเนย เรียกว่า smegma

## 3. ต่อมที่เกี่ยวข้อง (Accessory glands)

หมายถึง ต่อมต่างๆ ในระบบสืบพันธุ์ชาย ได้แก่ seminal vesicle, prostate gland, และ bulbourethral gland ดูรูปที่ 11-3

**3.1 Seminal vesicle (ถุงน้ำอสุจิ)** มีลักษณะเป็นถุงยาว ยาวประมาณ 5 ซม. อยู่ด้านหลังของส่วนคอของกระเพาะปัสสาวะ ส่วนปลายล่างของถุงจะแคบลงแล้วไปรวมกับ ampulla เกิดเป็นท่อสั้นๆ เรียกว่า ejaculatory duct ผนังด้านในประกอบด้วยเนื้อยึดต่อมีกล้ามเนื้อเรียบและเส้นประสาทซิมพาเทติก ต่อมสร้างสารคัดหลั่งมีลักษณะข้นใส มีคุณสมบัติเป็นด่าง สารคัดหลั่งที่สร้างจะถูกเก็บไว้ในในท่อ เมื่อต้องการใช้จะหลั่งออก การสร้างสารคัดหลั่งนี้ถูกควบคุมด้วยฮอร์โมน testosterone

**3.2 Prostate glands (ต่อมลูกหมาก)** เป็นต่อมมีท่อที่มีขนาดใหญ่สุดในระบบสืบพันธุ์เพศชาย มีขนาดเท่าลูกเกาลัด ขนาดกว้างประมาณ 3.4 ซม. ยาว 4 ซม. หนา 2.6 ซม. อยู่ล้อมรอบท่อปัสสาวะส่วน prostatic urethra ฐานของต่อมจะแตะอยู่กับคอของกระเพาะปัสสาวะ ส่วนยอดชี้ลงล่างไปแตะกับพื้นของเชิงกราน ด้านหลังของต่อมจะแบน ต่อมลูกหมากไม่มีปลอกหรือถุงหุ้ม แต่จะมีแถบเส้นใยกล้ามเนื้อหุ้มล้อมรอบแทน ต่อมมีอยู่ 4 กลีบ (lobe) ได้แก่ กลีบหน้า (anterior lobe) กลีบหลัง (posterior lobe) กลีบกลาง (median lobe), กลีบข้าง (lateral lobe) 2 กลีบ

หน้าที่ของต่อมลูกหมาก คือ การหลั่งน้ำต่อมลูกหมาก (prostatic fluid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำอสุจิ น้ำหลั่งมีลักษณะเป็นด่างเล็กน้อย สีน้ำนมหรือสีขาว ในมนุษย์น้ำอสุจิจะมีน้ำต่อมลูกหมากประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 30 ความเป็นด่างของน้ำอสุจิ ช่วยทำให้สภาพกรดของช่องคลอดเป็นกลาง ทำให้อายุของตัวอสุจิยาวนานขึ้น การสร้างน้ำต่อมลูกหมากอยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมน testosterone

เนื่องจากต่อมลูกหมาก มีท่อปัสสาวะ prostatic urethra ทอดผ่าน ดังนั้นขนาดต่อมจึงมีผลต่อการขับถ่ายปัสสาวะ ในผู้ชายวัยกลางคนจนถึงวัยสูงอายุ ต่อมลูกหมากจะมีขนาดโตขึ้น โดยเฉพาะกลีบ median lobe ทำให้ท่อปัสสาวะตีบ มีอาการปัสสาวะลำบาก

**3.3 Bulbourethra glands (Coper's glands)** ต่อมมีขนาดเล็กประมาณ 1 ซม. มีท่อมาเปิดเข้าท่อปัสสาวะตรงส่วน penile urethra ต่อมทำหน้าที่สร้างเมือกใสๆ ทำหน้าที่หล่อลื่นในช่วงแรกของการมีเพศสัมพันธ์

************************************

# ตอนที่ 2
# หน้าที่ของระบบสืบพันธุ์เพศชาย

ระบบสืบพันธุ์ชายมีหน้าที่หลัก มี 2 ประการ คือ การสร้างเชื้ออสุจิ และสร้างฮอร์โมนเพศชาย รายละเอียดดังนี้

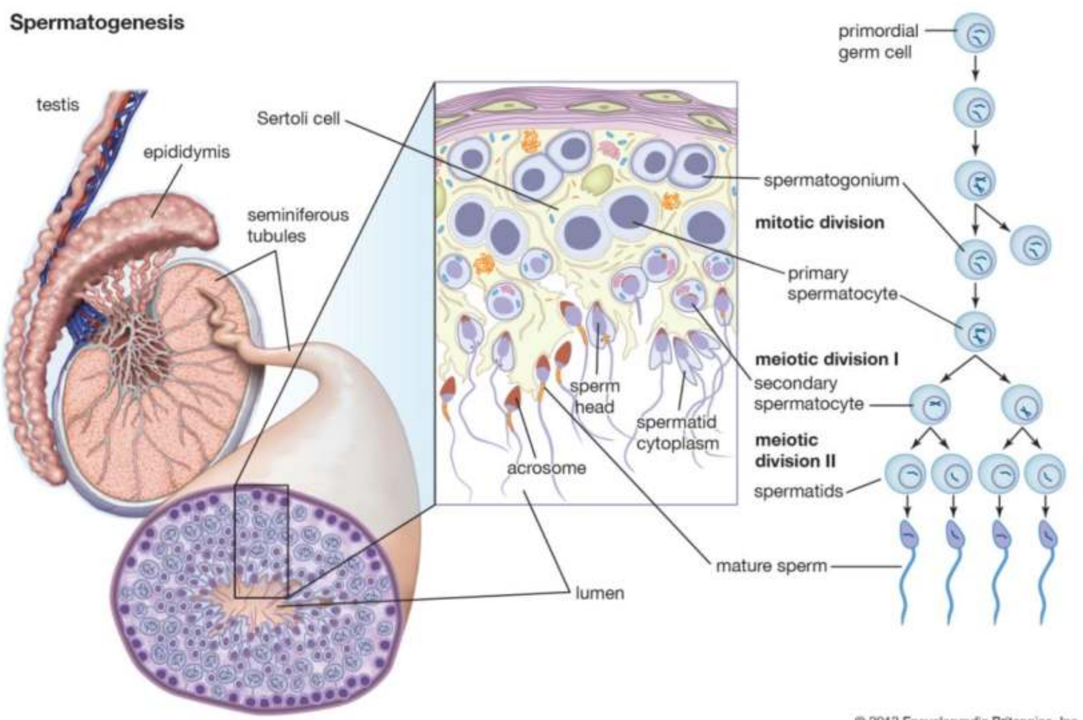
## 2.1 การสร้างเชื้ออสุจิ (Spermatogenesis)

### 2.1.1 ขั้นตอนการสร้าง

ในเพศชายสามารถสร้างเชื้ออสุจิได้ตลอดชีวิต สเปอร์มาโตโกเนียม (spermatogonium) สามารถแบ่งตัวให้เซลล์ใหม่เป็นจำนวนมาก ในขณะที่เพศหญิงหลังจากคลอด รังไข่จะมีเซลล์ไข่จำนวนคงที่และจะลดจำนวนลง

สเปอร์มาโตโกเนียมแต่ละตัว จะมีการพัฒนาให้เชื้ออสุจิได้ 64 ตัว เริ่มจากสเปอร์มาโตโกเนียม ซึ่งมีโครโมโซมเป็นจำนวนคู่ (diploid number) แบ่งตัวแบบไมโตซิส หลายครั้งได้ spermatogonia จำนวนมาก ซึ่งแบ่งเป็น 2 พวก คือ Type A เพื่อสะสมไว้เป็นเซลล์ตั้งต้น และ Type B เป็นเซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงและเข้าสู่กระบวนการสร้างเชื้ออสุจิ

Spermatogonia Type B เปลี่ยนแปลงเป็นสเปอร์มาโตไซต์ปฐมภูมิ (primary spermatocyte) โดยมีการสร้าง DNA เพิ่มเป็น 2 เท่า (46 โครโมโซม, 92 โครโมติด, 4n DNA) จากนั้นเข้าสู่การแบ่งตัวแบบ meiosis ครั้งที่ 1 ให้สเปอร์มาโตไซต์ทุติยภูมิ (secondary spermatocyte) 2 ตัว ซึ่งแต่ละตัวจะมีโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง ซึ่งเป็น haploid number (23 โครโมโซม, 46 โครโมติด, 2n DNA) เมื่อเข้าสู่การแบ่งตัว meiosis ครั้งที่ 2 โครมาติดของแต่ละโครโมโซมจะแยกจากกัน ดังนั้น สเปอร์มาโตโกเนียมชนิด Type B 1 ตัว ให้สเปอร์มาติด (spermatid) 4 ตัว ซึ่งแต่ละตัวมีโครโมโซม 23 อัน

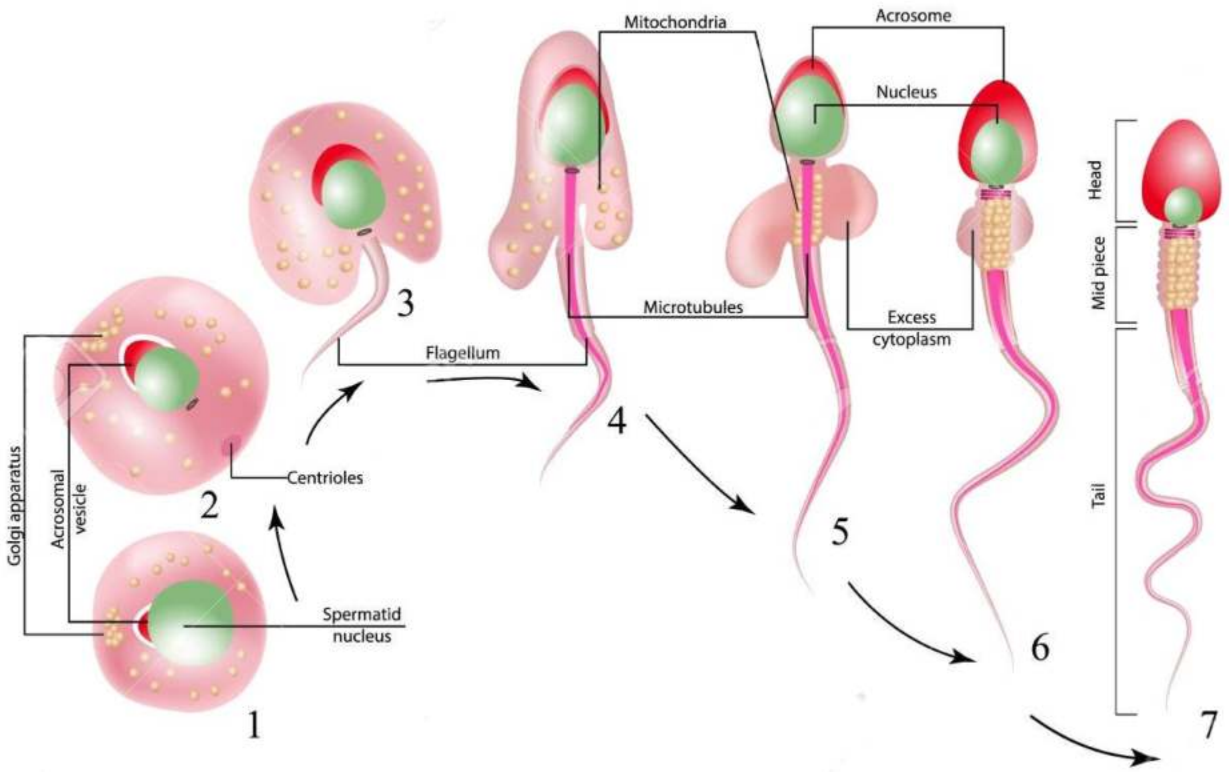



รูปที่ 11-6 แสดงกระบวนการสร้างเชื้ออสุจิ

**2.1.2 การพัฒนาเป็นเชื้ออสุจิ (spermiogenesis)**

สเปอร์มาติดจะพัฒนาเป็นเชื้ออสุจิ โดยกระบวนการที่เรียกว่า spermiogenesis มีการเปลี่ยนแปลงที่นิวเคลียสและไซโตพลาสซึม นิวเคลียสมีการอัดตัวแน่นขึ้นทำให้มีขนาดเล็กลง มีการปล่อยไซโตพลาสซึมออกจากเซลล์ Golgi apparatus จะเปลี่ยนเป็นส่วนอะโครโซม (acrosome) อยู่ที่หัว และ centriole จะเจริญเป็นส่วนหาง

ผลของการพัฒนาทำให้ได้เชื้ออสุจิที่มีรูปร่างยาวขึ้น ส่วนหัวประกอบด้วย chromatin ซึ่งอัดตัวกันแน่น ส่วนของอะโครโซมมีเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ช่วยย่อยเซลล์ที่หุ้มไข่และสลายเมือกในช่องคลอด ส่วนกลางลำตัว มีไมโตคอนเดรียมากมาย เพื่อใช้เป็นแหล่งสร้างพลังงานในการเคลื่อนไหวของอสุจิ ส่วนหางมีโครงสร้างเหมือนซีเลีย (cilia) ประกอบด้วยท่อเล็กๆ ช่วยในการพัดโบกขณะเคลื่อนไหว กระบวนการสร้างเชื้ออสุจิในระยะเริ่มต้นอาศัยทั้งฮอร์โมน testosterone และ FSH แต่ในกระบวนการสร้างในผู้ใหญ่อาศัยเพียง testosterone




รูปที่ 11-7 แสดงขั้นตอนการเจริญของเชื้ออสุจิ

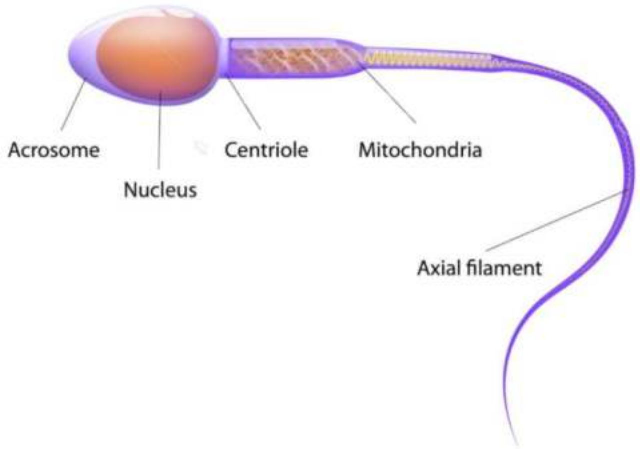
**2.1.3 การเจริญเต็มวัยของอสุจิ (sperm maturation)**

เชื้ออสุจิที่อยู่ในท่อ seminiferous ยังเจริญไม่เต็มที่ ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้เองต้องอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบโดยรอบท่อ ภายใต้อิทธิพลของฮอร์โมน testosterone กับ oxytocin ซึ่งสร้างจาก Leydig cells และแรงดันของเหลวที่สร้างขึ้นในอัณฑะช่วยบีบดันเชื้ออสุจิจากอัณฑะไปยัง epididymis ระหว่างที่เชื้ออสุจิเดินทางอยู่ใน epididymis เป็นเวลาประมาณ 12 วัน เชื้ออสุจิจะเจริญเต็มวัย มีการพัฒนาความสามารถในการเคลื่อนที่ และความสามารถในการผสมกับไข่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ เรียกว่า sperm maturation

### 2.1.4 น้ำอสุจิ (Semen)

น้ำอสุจิเป็นของเหลวที่ประกอบด้วยตัวอสุจิกับส่วนที่เป็นของเหลว ที่หลั่งมาจากท่อพักเชื้ออสุจิ, ต่อมเซมินัลเวสซิคัล, ต่อมลูกหมาก และต่อมเมือกต่างๆ เนื่องจากน้ำอสุจิมีฤทธิ์เป็นด่าง จึงช่วยลดความเป็นกรดในช่องคลอด เมื่อหลั่งออกมาจะเกาะกันเป็นก้อน (coagulum) เนื่องจากเอ็นไซม์จากต่อมลูกหมากทำปฏิกิริยากับ fibrinogen ซึ่งหลั่งออกมาจากต่อม seminal vesicle

coagulum นี้ ช่วยทำให้เชื้ออสุจิยังอยู่ในระยะพัก ไม่มีการเคลื่อนไหว และช่วยกักเชื้ออสุจิไม่ให้ไหลออกจากช่องคลอดเร็วเกินไป การเกาะตัวของน้ำเชื้ออสุจิจะสลายไป หลังจากการหลั่งประมาณ 15-20 นาที โดยเอ็นไซม์ fibrinolysin จากต่อมลูกหมาก




รูปที่ 11-8 แสดงลักษณะของตัวอสุจิ

**คุณสมบัติของน้ำอสุจิ**

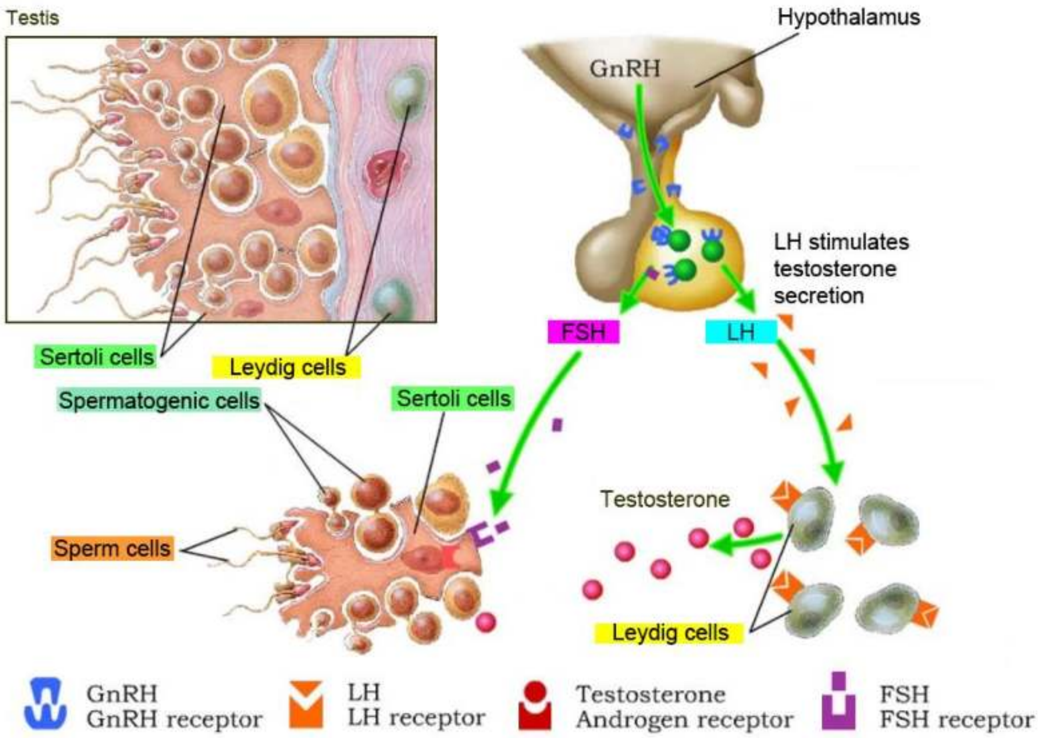
1. มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม
2. มีฤทธิ์เป็นด่าง pH อยู่ระหว่าง 7.5-7.8
3. น้ำอสุจิที่ขับออกมาแต่ละครั้งมีปริมาตรประมาณ 3-3.5 มล. มีเชื้ออสุจิประมาณ 40-100 ล้านตัว/มล. เชื้ออสุจิมีชีวิตอยู่ได้นาน 30-45 ชม.
4. องค์ประกอบที่สำคัญ
   - 4.1 ต่อมเซมินัสเวซิคัล ผลิตและหลั่ง fructose, prostaglandins, fibrinogen, phosphorylcholine
   - 4.2 ต่อมลูกหมาก (Prostate gland) หลั่ง fibrinolysin, fibrinogenase. acid phosphatase, zinc
   - 4.3 บัฟเฟอร์: phosphate และ bicarbonate
   - 4.4 เอนไซม์: Hyaluronidase

## 2.2 ฮอร์โมนเพศชาย

อัณฑะสร้างฮอร์โมนเพศชายแอนโดรเจน ซึ่งส่วนใหญ่ คือ เทสทอสเตอโรน (testosterone) จากเซลล์ leydig cells ภายใต้การควบคุมของ LH (เทสทอสเตอโรน ส่วนน้อยสร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอก) เริ่มตั้งแต่ LH เข้าจับกับตัวรับสัญญาณ LH receptor ของ Leydig cells ในอัณฑะ เมื่อ LH เข้าจับกับตัวรับสัญญาณ จะกระตุ้น G protein เป็นผลให้มีการเพิ่มการทำงานของ adenylate cyclase จากนั้น cAMP จับกับโปรตีนไคเนส-เอ (protein kinase A) และเร่งให้โปรตีนบางชนิดรับฟอสเฟตจาก ATP และเป็นผลให้มีการสร้างฮอร์โมนเทสทอสเตอโรน

### 2.2.1 กลไกการออกฤทธิ์ของเทสทอสเตอโรน (testosterone)

เทสทอสเตอโรนออกฤทธิ์โดยผ่านขั้นตอนต่างๆ เหมือนกับสเตียรอยด์ฮอร์โมนอื่นๆ เมื่อเทสทอสเตอโรน ในเลือดซึมเข้าสู่เซลล์ของอวัยวะเป้าหมาย เทสทอสเตอโรนจับกับตัวรับสัญญาณ androgen receptor ซึ่งอยู่ในไซโตพลาสซึมทันที หรือถูกเปลี่ยนเป็น dihydrotestosterone (DHT) ก่อน โดยอาศัยเอ็นไซม์ 5$\alpha$ reductase จึงจับกับตัวรับ DHT จับกับตัวรับสัญญาณได้ดีกว่าเทสทอสเตอโรน ถึง 12 เท่า หลังจากนั้น androgen receptor complex จะถูกขนส่งเข้าไปในนิวเคลียส แล้วจับกับตัวรับสัญญาณที่ 2 ซึ่งอยู่บนโครมาติน ในที่สุดมีการสร้าง mRNA และโปรตีนที่จำเป็นต่อการพัฒนาและเจริญเติบโตของอวัยวะ




รูปที่ 11-9 แสดงการหลั่งฮอร์โมนเพศชาย

### 2.2.2 หน้าที่ของฮอร์โมนเพศชาย

ฮอร์โมนเทสทอสเตอโรน มีผลกระตุ้นการเจริญเติบโตและการพัฒนาของอวัยวะเพศ ตั้งแต่เป็นตัวอ่อนในครรภ์ การพัฒนาจะมาสมบูรณ์จนกว่าเด็กชายเข้าสู่วัยแรกรุ่น การทำงานของระบบสืบพันธุ์เพศชายที่เป็นผู้ใหญ่อาศัยเทสทอสเตอโรน ดังนี้

1. กระตุ้นการพัฒนาของอวัยวะภายใน เช่น ต่อมเซมินอลเวซิคัล ท่อพักเชื้ออสุจิ ท่อนำเชื้ออสุจิ
2. กระตุ้นการพัฒนาของอวัยวะภายนอก เช่น การเพิ่มขนาดขององคชาตและอัณฑะ
3. กระตุ้นให้อัณฑะเคลื่อนลงไปในถุงอัณฑะก่อนคลอด
4. กระตุ้นลักษณะเพศชายทุติยภูมิ
   - การกระจายของขน หนวด เครา
   - กล่องเสียงมีขนาดโตขึ้น และสานเสียงหนาตัวทำให้เสียงห้าว
   - กระตุ้นเมตาบอลิซึมของโปรตีน ทำให้มีการเจริญของกล้ามเนื้อ

- เป็นสิว เนื่องจากมีการขับน้ำมันออกมามาก
- กระตุ้นการแบ่งตัวที่ epiphyseal plate ทำให้กระดูกยาวขึ้น
- มีนิสัยก้าวร้าว และมีความคิดแบบผู้ชาย

5. มีความสำคัญและจำเป็นต่อกระบวนการสร้างเชื้ออสุจิ
6. ควบคุมการหลั่งของ GnRh ผ่านทางไฮโปทาลามัส ทำให้ระดับ LH และ FSH ลดลง
7. ควบคุมการสร้างเม็ดเลือด
8. ป้องกันการเกิดกระดูกพรุน

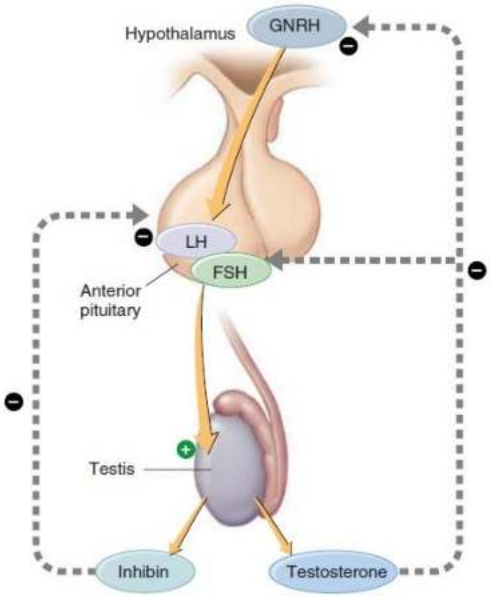
## 2.3 การควบคุมการทำงานของอัณฑะ

**แกนควบคุม Hypothamic – Pituitary – Testis Axis**

การทำงานของอัณฑะอยู่ภายใต้อิทธิพลของ FSH และ LH ซึ่งหลั่งจาก Gonadotroph ของต่อมใต้สมองส่วนหน้า การหลั่งของฮอร์โมนทั้ง 2 ชนิดนี้ ถูกควบคุมโดย GnRH ซึ่งหลั่งจากไฮโปทาลามัส

FSH และ LH มีผลต่อการทำงานของอัณฑะ ต่างกันที่ FSH กระตุ้นการสร้างอสุจิ โดยผ่านการทำงานของ Sertoli cells ในขณะที่ LH ไม่มีผลโดยตรงต่อการสร้างอสุจิ แต่ไปกระตุ้น Leydig cells หลั่งเทสทอสเตอโรน ซึ่งจะไปมีผลต่อการสร้างอสุจิ

การควบคุมการหลั่งเป็นแบบการยับยั้งย้อนกลับ โดยที่ฮอร์โมนเทสทอสเตอโรน ยับยั้งการหลั่ง LH โดยไปมีผลต่อไฮโปทาลามัสและต่อมใต้สมองส่วนหน้า เทสทอสเตอโรนขนาดสูงๆ ก็สามารถยับยั้งการหลั่ง FSH ได้เช่นกัน ส่วนอินฮิบิน (inhibin) ซึ่งหลั่งจาก Sertoli cells มีผลเฉพาะเจาะจงในการยับยั้งการหลั่งของ FSH

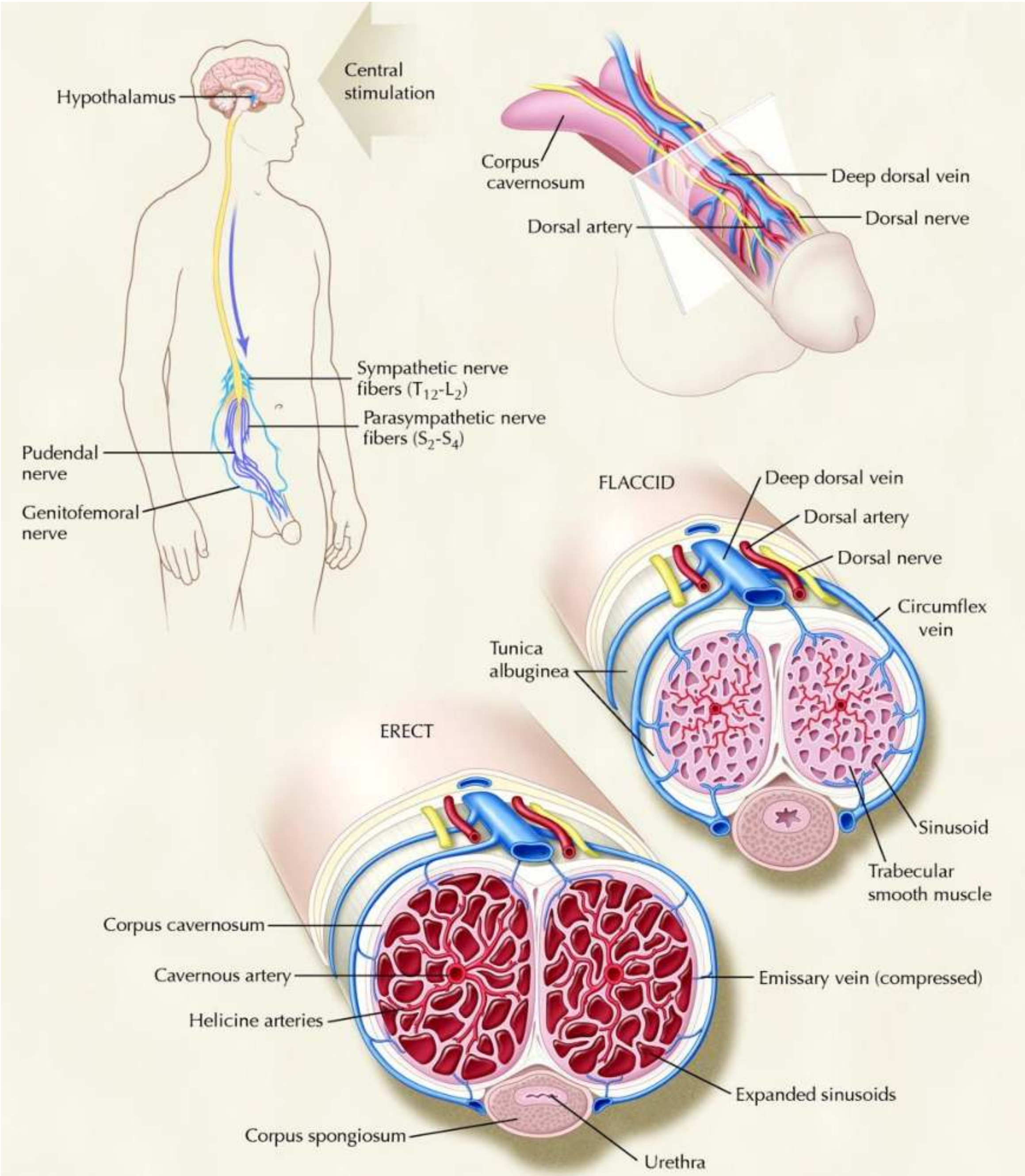



รูปที่ 11-10 แสดงกลไกการควบคุมการหลั่งเทสทอสเตอโรน (Hypothamic – Pituitary – Testis Axis)

## 2.4 การแข็งตัวขององคชาต (Penile erection)

กลไกการแข็งตัวขององคชาตมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบหลอดเลือด ระบบประสาท และระบบฮอร์โมน

**1. ระบบหลอดเลือด** องคชาตประกอบด้วยกล้ามเนื้อในชั้น corpora คือ กล้ามเนื้อ corpora cavernosa 2 มัด และกล้ามเนื้อ corpus spongiosum 1 มัด ซึ่งภายในกล้ามเนื้อทั้ง 3 มัด จะมีโพรงมากมาย สำหรับรับเลือดเข้าไปเพื่อให้เกิดการแข็งตัวขององคชาตและถัดออกมาจะเป็นชั้นของ fibrous tissue membrane ที่เรียกว่า tunica albugina ซึ่งหุ้มชั้น corpora อยู่ เพื่อจำกัดการขยายตัวขององคชาต ในขณะที่องคชาตอ่อนตัว (flaccid state) การไหลเวียนของเลือดระหว่างหลอดเลือดแดงที่นำเลือดเข้าไปใน corpora และหลอดเลือดดำที่นำเลือดออกจาก corpora จะอยู่ในภาวะสมดุล คือ การไหลของเลือดแดง (arterial flow) เท่ากับการไหลของเลือดดำ (venous flow)




รูปที่ 11-11 แสดงการแข็งตัวของอวัยวะเพศชาย

แต่ในขณะที่องคชาตแข็งตัว (erection phase) การไหลเวียนของการไหลของเลือดแดง จะเพิ่มขึ้น ทำให้เลือดไหลเข้าไปในโพรง sinusoids ภายใน corpora มากขึ้นส่งผลให้องคชาตเกิดการขยายตัวได้ และการที่องคชาตจะสามารถคงการแข็งตัวอยู่ได้นั้น เกิดเนื่องมาจากการที่หลอดเลือดดำถูกกดโดย corpora ที่ขยายตัวออก ทำให้การไหลออกของเลือดผ่านหลอดเลือดดำลดลง การไหลเวียนของเลือดเข้าไปใน corpora ถูกกระตุ้นโดย acetylcholine (Ach) ซึ่ง Ach ไม่ได้มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มการไหลของเลือดแดง แต่เป็นสารสื่อประสาทที่ทำงานร่วมกับ สารสื่อประสาทอื่นๆ ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขยายหลอดเลือด

**2. ระบบประสาท** ในบางครั้งการแข็งตัวขององคชาตเกิดจากการทำงานของรีเฟล็กซ์ในอุ้งเชิงกราน (sacral nerve reflex arc) เช่น กรณีที่องคชาตแข็งตัวในขณะนอนหลับ อย่างไรก็ตามการแข็งตัวขององคชาติที่มาจากการกระตุ้นทางเพศนั้น จะถูกควบคุมโดยระบบประสาทส่วนกลาง เช่น การเห็นภาพที่กระตุ้นกามารมณ์ การได้ยินคำพูดไพเราะ การได้กลิ่นจำเพาะบางอย่าง ก็สามารถทำให้องคชาตแข็งตัวได้ ซึ่งในกรณีนี้ สมองจะส่งสัญญาณประสาทผ่านทางไขสันหลังเพื่อไปยังปลายประสาทโคลิเนอร์จิกที่อยู่บริเวณหลอดเลือด corpora ส่งผลให้เกิดการแข็งตัวขององคชาตได้

**3. ระบบฮอร์โมน** ฮอร์โมนเทสทอสเตอโรน มีผลกระตุ้นความต้องการทางเพศในผู้ชาย ซึ่งความเข้มข้นของเทสทอสเตอโรนในเลือดปกติมีค่า 300-1,100 นาโนกรัม/เดซิลิตร ดังนั้น ในผู้ที่มีระดับ testosterone ต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ จึงมักรู้สึกไม่มีแรง อารมณ์ซึมเศร้า และความต้องการทางเพศลดลงเมื่อความต้องการทางเพศลดลง ก็จะส่งผลให้องคชาตไม่แข็งตัว หรือในบางคนอาจไม่มีความต้องการทางเพศเลย

************************************

เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy* : *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

--------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศหญิง
(Anatomy and Physiology of Female Reproductive system)

**จำนวนชั่วโมง** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศชาย
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกชื่ออวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกเพศหญิงภายนอกได้อย่างถูกต้อง
2. บอกชื่ออวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกเพศหญิงภายในได้อย่างถูกต้อง
3. เปรียบเทียบความแตกต่างกับอวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย
4. อธิบายกายวิภาคของช่องคลอด
5. อธิบายกายวิภาคของมดลูก
6. อธิบายกายวิภาคของปีกมดลูก
7. อธิบายขั้นตอนการสร้างเซลล์ไข่
8. อธิบายกลไกการสร้างรอบเดือน
9. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่รังไข่
10. บอกหน้าที่ของฮอร์โมนเอสโทรเจน
11. บอกหน้าที่ของฮอร์โมนโพรเจสทิน
12. อธิบายกลไกการควบคุมการทำงานของรังไข่

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน

3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจตคติในการเรียนการสอน

# 12

**************************************

# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศหญิง
# (Anatomy and Physiology of Female Reproductive system)

**ตอนที่ 1 โครงสร้างของระบบสืบพันธุ์เพศหญิง**

1.1 อวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกเพศหญิงภายนอก (External genital organ, Valva)

1.1.1 Mons pubis (หัวหน่าว)

1.1.2 Mabia majora (แคมใหญ่)

1.1.3 Labia minora (แคมเล็ก)

1.1.4 Clitoris (คลิตอริส)

1.1.5 Vestibule (เวสติบลู)

1.1.6 Perineum (ฝีเย็บ)

1.1.7 Bartholin's gland (ต่อมขับน้ำเมือก)

1.1.8 Hymen (เยื่อพรหมจารีย์)

1.1.9 Mammary glands (ต่อมน้ำนม)

1.2 อวัยวะสืบพันธุ์ภายในของเพศหญิงภายใน (Internal female genital organ)

1.2.1 ช่องคลอด (Vagina)

1.2.2 มดลูก (Uterus)

1.2.3 ปกมดลูก หรือ ท่อนำไข่ (uterine tube หรือ fallopian tube หรือ oviduct)

1.2.4 รังไข่ (Ovary)

**ตอนที่ 2 หน้าที่ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง**

2.1 การสร้างเซลล์ไข่ (Oogenesis)

2.2 รอบเดือน

2.3 ฮอร์โมนเพศหญิง

2.3.1 เอสโทรเจน (estrogen)

2.3.2 โพรเจสทิน (Progestins)

2.4 การควบคุมการทำงานของรังไข่

2.5 การตั้งครรภ์ (Pregnancy)

2.6 การคลอด (Parturition)

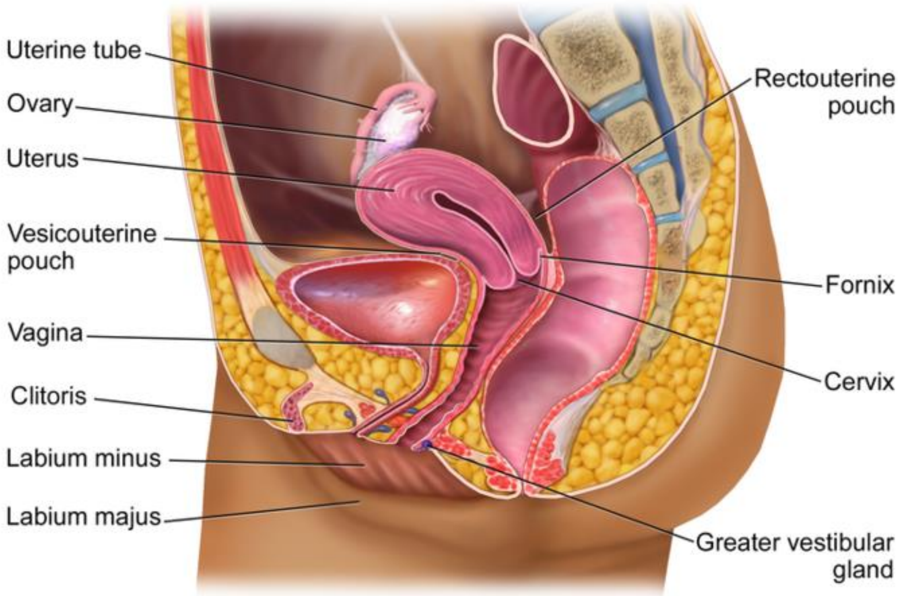
2.7 การให้นมบุตร (Lactation)

# บทที่ 12
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศหญิง
# (Anatomy and Physiology of Female Reproductive system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

## ตอนที่ 1
## โครงสร้างของระบบสืบพันธุ์เพศหญิง

ระบบสืบพันธุ์เพศหญิงประกอบด้วยอวัยวะซึ่งส่วนใหญ่อยู่ภายในร่างกายและรอบๆ บริเวณเชิงกรานซึ่งทำหน้าที่ในกระบวนการสืบพันธุ์ ระบบสืบพันธุ์เพศหญิงประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ช่องคลอดทำหน้าที่รองรับอสุจิจากเพศชาย, มดลูกซึ่งช่วยรองรับทารกในครรภ์ และรังไข่ทำหน้าที่ผลิตไข่ เต้านมก็เป็นอวัยวะสืบพันธุ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในระยะการดูแลทารก




รูปที่ 12-1 แสดงโครงสร้างของระบบสืบพันธุ์เพศหญิงทางด้านข้าง

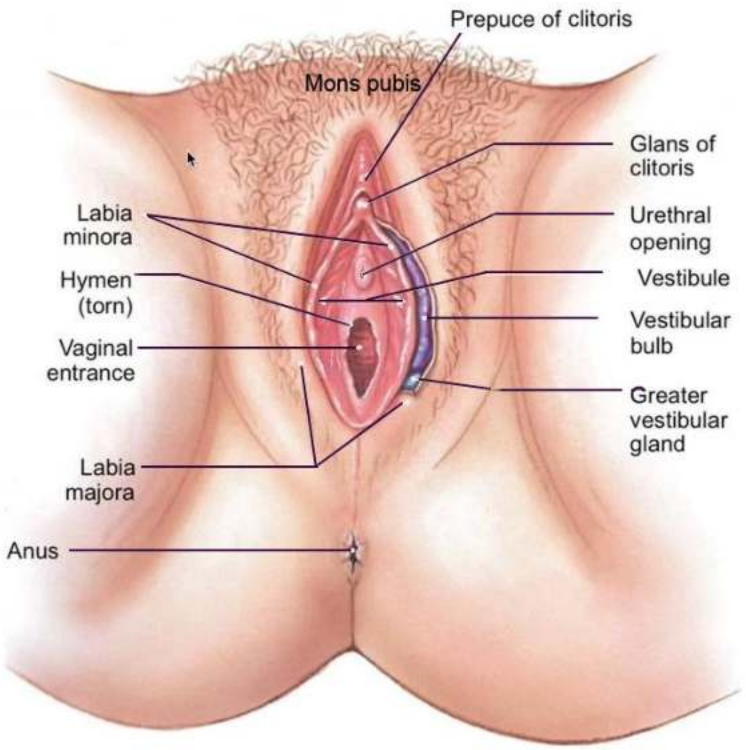
ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

### 1.1 อวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกเพศหญิงภายนอก (External genital organ, Valva)

อวัยวะสืบพันธุ์ของเพศหญิง ประกอบด้วย หัวหน่าว (mons pubis) แคมใหญ่ (labia majora) แคมเล็ก (labia minora) คลิตอริส (clitoris) เวสติบลู (vestibule) ต่อมน้ำเมือก (Bartholin gland) เยื่อพรหมจารีย์ (hymen) และเต้านมและต่อมน้ำนม (breast and mammary gland)

### 1.1.1 Mons pubis (หัวหน่าว)

หัวหน่าวอยู่ใต้ท้องน้อยระหว่างขาหนีบทั้งสองข้าง มีลักษณะเป็นผิวหนังนูนที่เกิดจากเนื้อเยื่อไขมันจำนวนมาก เมื่อย่างเข้าสู่วัยรุ่นจะมีขนปกคลุม ขนมีลักษณะหยิกงอ สีดำ เส้นใหญ่ ยาว มีลักษณะการปกคลุมรูปสามเหลี่ยมตามลักษณะของหัวหน่าว ลักษณะและปริมาณแตกต่างกันในแต่ละคนขึ้นอยู่กับพันธุกรรม




รูปที่ 12-2 แสดงลักษณะอวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกเพศหญิง

### 1.1.2 Mabia majora (แคมใหญ่)

แคมใหญ่เป็นกลีบของเนื้อนูนยาวๆ ซึ่งอยู่ข้างหน้าติดต่อกับหัวหน่าว แล้วทอดไปข้างหลังบริเวณฝีเย็บ มี 2 กลีบ ใต้ผิวหนังจะมีเนื้อเยื่อไขมัน ต่อมไขมัน กล้ามเนื้อเรียบ เส้นประสาท และหลอดเลือด ในผู้ใหญ่ด้านนอกของแคมใหญ่มีขน แต่ด้านในไม่มีขน ปกติในเพศหญิงแคมใหญ่จะปิดบริเวณปากช่องคลอดมิดชิด เพื่อป้องกันอวัยวะต่างๆ ที่อยู่ภายใน อวัยวะนี้เทียบเท่ากับถุงอัณฑะของเพศชาย

### 1.1.3 Labia minora (แคมเล็ก)

แคมเล็กเป็นกลีบนูนเล็กสีแดง เล็กกว่าแคมใหญ่ ขนานกับด้านในของแคมใหญ่ มี 2 กลีบ ไม่มีขน ด้านบนจะประกอบขึ้นเป็นหนังหุ้ม clitoris เรียกว่า prepuce of clitoris จากนั้นทอดลงมาด้านล่างและหายไปในส่วนของแคมใหญ่ แคมเล็กประกอบด้วยหลอดเลือดและต่อมน้ำมันมากมาย มีปลายประสาทรับความรู้สึก แคมเล็กทำหน้าที่ล้อมรอบและปกปิดรูเปิดของท่อปัสสาวะและช่องคลอด

### 1.1.4 Clitoris (คลิตอริส)

เป็นก้อนเนื้อเล็กๆ ตั้งอยู่ตอนบนของแคมเล็ก ยาวประมาณ 2.5 ซม. เป็นอวัยวะที่สามารถแข็งตัวได้ (erectile organ) มีหนังหุ้มเรียกว่า Prepuce มีหลอดเลือด เส้นประสาทมาเลี้ยงมาก จะไวต่อความรู้สึกทางเพศ คล้ายองคชาตของเพศชาย

### 1.1.5 Vestibule (เวสติบลู)

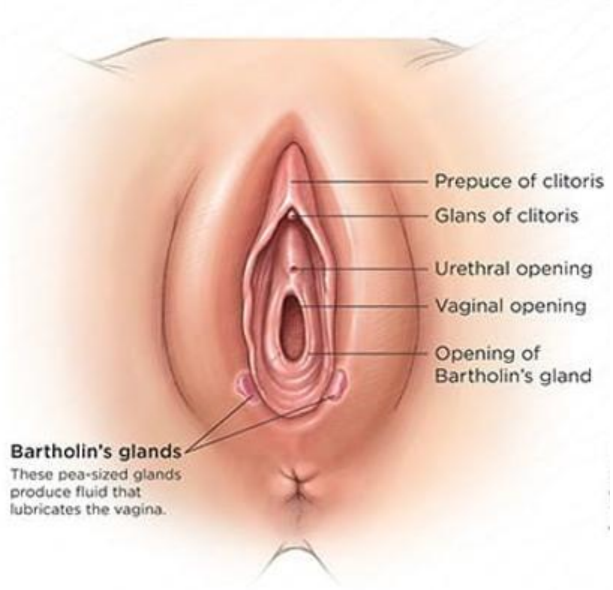
เป็นช่องระหว่างแคมเล็กทั้ง 2 กลีบ บริเวณนี้จะมีช่องคลอด (Vagina) รูเปิดของท่อปัสสาวะ (Urethral orifice) และท่อของต่อมขับน้ำเมือก (Bartholin duct) มาเปิด

### 1.1.6 Perineum (ฝีเย็บ)

เป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างช่องคลอดกับทวารหนัก สามารถยืดหดได้มากโดยเฉพาะเวลาคลอดบุตร ทำหน้าที่ช่วยพยุงอวัยวะในอุ้งเชิงกรานไม่ให้เคลื่อนออกมาภายนอก ฝีเย็บประกอบด้วยกล้ามเนื้อลายและกล้ามเนื้อหูรูดทวารหนัก

### 1.1.7 Bartholin's gland (ต่อมขับน้ำเมือก)

เป็นต่อมรูปไข่มีขนาดเท่าเมล็ดถั่วเขียว อยู่บริเวณปากช่องคลอดทั้งฝั่งซ้ายและขวา มีขนาดประมาณ 0.5-1.5 เซนติเมตร มีท่อยาวประมาณ 1.5-2 ซม. มาเปิดที่เวสติบลู ทางด้านข้างของช่องคลอด ต่อมนี้มีหน้าที่ขับน้ำเมือกสีเหลืองข้นออกมาช่วยหล่อลื่นช่องคลอดระหว่างร่วมเพศ เมื่อมีการกระตุ้นให้เกิดอารมณ์ทางเพศ




รูปที่ 12-3 แสดงต่อม Bartholin's gland

### 1.1.8 Hymen (เยื่อพรหมจารีย์)

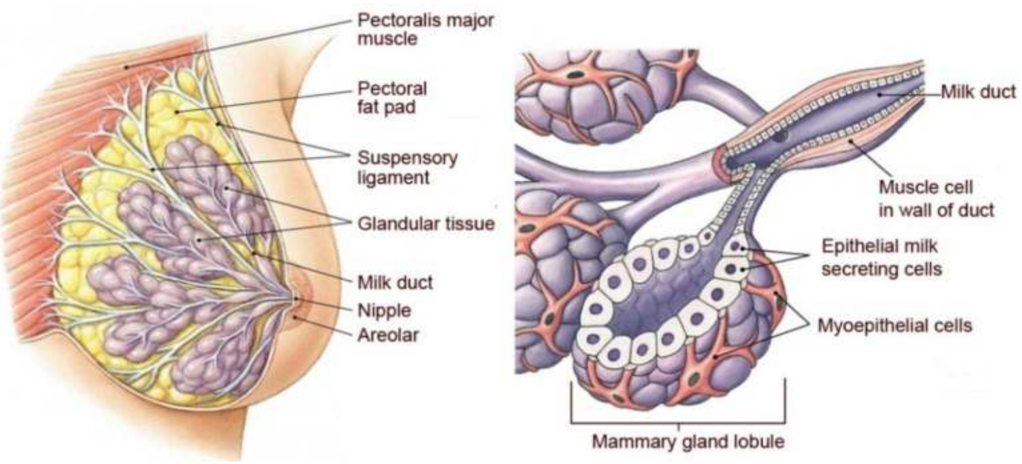
เป็นเยื่อที่ยืดหดได้ปิดปากช่องคลอดเกือบหมด เว้นช่องเล็กๆไว้ตรงกลาง เพื่อให้ประจำเดือนผ่าน ภายหลังร่วมเพศเยื่อนี้จะฉีกขาด หรือเล่นกีฬาบางประเภทก็ทำให้เยื่อนี้ฉีกขาดได้ บางรายเยื่อพรหมจารีย์อาจปิดช่องคลอดไว้หมดทำให้ประจาเดือนไหลออกมาภายนอกไม่ได้จะต้องทำการผ่าตัด

### 1.1.9 Mammary glands (ต่อมน้ำนม)

ต่อมน้ำนมอยู่ในเต้านม (breast) เป็น modified sweat gland ซึ่งสามารถสร้างน้ำนมได้ เต้านมวางบนพังผืดชั้นลึกที่คลุมกล้ามเนื้อ pectoralis major และ minor โดยมีขอบเขตอยู่ระหว่าง กระดูกซี่โครงที่ 2 ถึงซี่โครงที่ 6 และจากขอบของกระดูกหน้าอก ถึงขอบหน้าของรักแร้ ขนาดของเต้านมไม่แน่นอนขึ้นกับปริมาณไขมัน แต่จำนวนต่อมน้ำนมจะไม่ค่อยต่างกัน

เต้านมแต่ละข้างจะมีรูปร่างครึ่งทรงกลม ตรงกลางของเต้านม คือ หัวนม เรียกว่า nipple เป็นบริเวณที่มีท่อของต่อมน้ำนมมาเปิดประมาณ 15-20 ท่อรอบ ๆ หัวนมจะล้อมรอบด้วยผิวผนังสีคล้ำ เรียกว่า areola ซึ่งจะใหญ่และคล้ำขึ้นเวลาที่มีการตั้งครรภ์

ต่อมน้ำนมในเต้านมแต่ละข้างประกอบด้วย compound areolar glands จำนวน 15-20 lobes และมีท่อเรียกว่า lactiferous duct นำน้ำนมมาที่หัวนม ก่อนที่จะถึงหัวนมจะขยายออก เรียกว่า lactiferous sinus




รูปที่ 12-4 แสดงกายวิภาคของเต้านมและต่อมน้ำนม

**จุลกายวิภาคของต่อมน้ำนม**

ต่อมน้ำนมมีการเปลี่ยนแปลงได้ ในขณะที่ไม่ได้ตั้งครรภ์ เรียกว่าอยู่ในระยะ resting หรือ inactive จะพบท่อ (duct) เป็นจำนวนมาก ถุงน้ำนม (alveoli) จะมีขนาดเล็ก ในระยะปลาย ๆ รอบประจำเดือน จะพบว่ามีเลือดเข้ามาหล่อเลี้ยงมากทำให้เต้านมมีขนาดโตขึ้น ในระยะที่มีการตั้งครรภ์ต่อมน้ำนมจะมีการเปลี่ยนแปลงจะมีถุงน้ำนมเพิ่มขึ้น เนื้อต่อมจะมากขึ้นและขยายใหญ่ขึ้น ในระยะปลายของการตั้งครรภ์จะพบการหลั่งน้ำขุ่น ๆ เรียกว่า colostrum ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนและแลกโตสจำนวนมาก โดยไม่มีไขมันปนอยู่เลย นอกจากนี้ยังมีภูมิคุ้มกันจำนวนมาก ซึ่งมีประโยชน์ต่อทารกในแง่ของการต้านทานโรค

ในระยะที่มีการให้นมบุตร ต่อมน้ำนมก็จะเริ่มสร้างน้ำนม ซึ่งจะประกอบด้วยไขมัน น้ำตาล และโปรตีน ถุงน้ำนมต่าง ๆ จะเริ่มขยายใหญ่ขึ้น และมีน้ำนมอยู่ภายใน หลังจากที่หยุดให้นมบุตร ต่อมจะเริ่มมีขนาดเล็กลงเข้าสู่ปกติ ภายหลังจากที่เข้าสู่วัยหมดประจำเดือน (menopause) ต่อมน้ำนมก็จะเล็กลงไปเหลือแต่ท่อเท่านั้น

## 1.2 อวัยวะสืบพันธุ์ภายในของเพศหญิงภายใน (Internal female genital organ)

ประกอบดวย ชองคลอด (vagina) มดลูก (uterus) ปกมดลูก (uterine tube or fallopian tube) และรังไข (ovaries)

### 1.2.1 ช่องคลอด (Vagina)

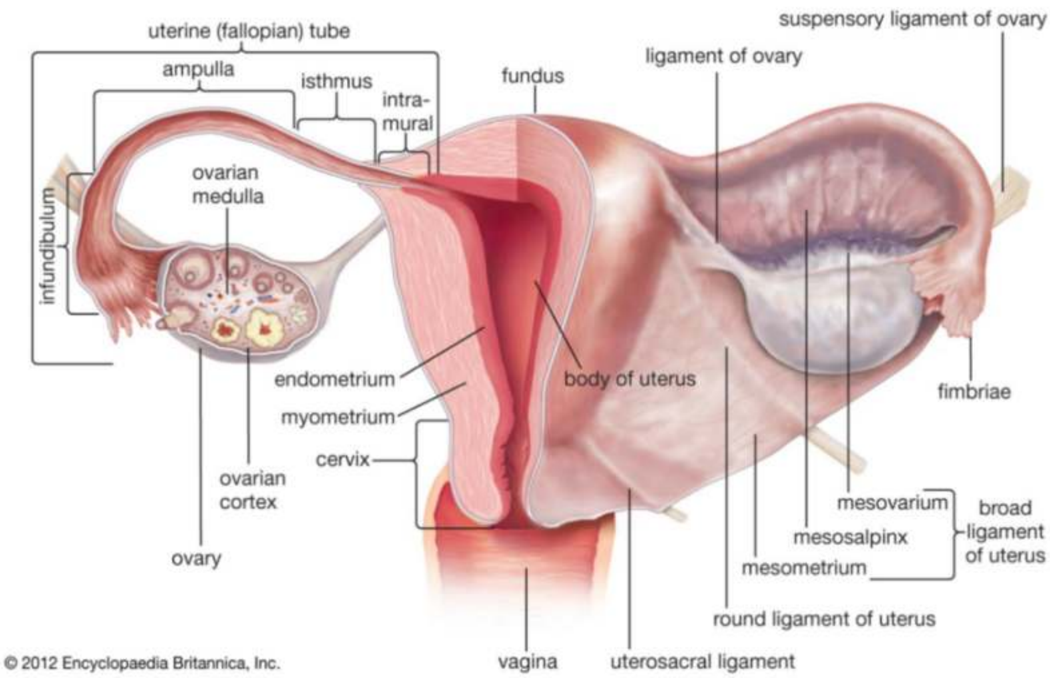
เป็นท่อกล้ามเนื้อ ยาวประมาณ 8-10 ซม. (3-4 นิ้ว) วางตัวอยูหลังกระเพาะปสสาวะ อยูหนาลำไสตรงและทวารหนัก ในเวลาปกติช่องคลอดจะแฟบ ตรงบริเวณช่องเปิดทางปลายจะมีเยื่อกั้น เรียกว่า **hymen** ส่วนของช่องคลอดที่อยู่รอบ ๆ ปากมดลูก เรียกว่า **fornix**

ผนังของชองคลอดมี 3 ชั้น คือชั้น mucosa, muscularis และชั้น adventitia โดยชั้น mucosa บุดวย stratified squamous epithelium ชั้นนี้พับยนเปนทางยาวเรียกวา Rugae ชั้น submucosa บรรจุหลอดเลือดจำนวนมาก เมื่อมีการกระตุนจะมีการขยายตัวของหลอดเลือดเหลานี้ทำใหชองคลอดหนาตัวขึ้นได สวนชั้น muscularis เปนชั้นกลามเนื้อเรียบ แตบริเวณใกลกับรูเปดมีหูรูดที่เปนกลามเนื้อลาย จึงทำใหเราขมิบชองคลอดได้ โดยปกติพื้นที่ภายในของชองคลอดจะแคบ แตสามารถขยายได เมื่อรวมเพศหรือคลอดบุตร ภายในชองคลอดไมมีตอม แตมีสารหลอลื่นขณะรวมเพศจากตอมของปากมดลูก สภาวะทั่วไปของชองคลอดจะเปนกรดเพื่อปองกันเชื้อโรคตางๆ แตอาจเปนอันตรายตออสุจิ ดังนั้นสารคัดหลั่งที่เปนดางของเพศชายจะชวยลดความเปนกรด ช่องคลอดทำหน้าที่เป็นทางเขาขององคชาตในขณะรวมเพศ ทางผ่านของตัวอสุจิเข้าสู่มดลูก เป็นทางออกของทารกเมื่อครบกำหนด และเปนทางออกของเลือดระดู

**1.2.2 มดลูก (Uterus)**

เป็นอวัยวะที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ มีโพรงอยู่ภายในตรงกลาง รูปร่างเป็นเหมือนลูกแพร์ มีขนาดประมาณ 3X2X1 นิ้ว และมดลูกสามารถขยายได้ 3 - 6 เท่าเมื่อตั้งครรภ์ ถูกหุ้มด้วยเยื่อบุช่องท้องทั้ง 2 ด้านทางด้านข้างของมดลูก เยื่อบุช่องท้องจะมาชนกันและติดแน่นเป็นแผ่นเดียวกัน เรียกว่า **Broad ligament** นอกจากนี้ที่มุมบนของมดลูกทางด้านหน้าจะมีเอ็นติดอยู่ เรียกว่า **round ligament of uterus** ซึ่งจะเป็นตัวรั้งมดลูกให้เอียงมาทางด้านหน้า เอ็นอันนี้จะทอดมาทางผนังด้านข้างของช่องเชิงกรานผ่านผนังหน้าท้องออกมายึดกับเนื้อเยื่อบริเวณแคมใหญ่ (labia majora) ของอวัยวะสืบพันธุ์ภายนอก ด้านหน้าของมดลูกคือกระเพาะปัสสาวะ ส่วนด้านหลังคือลำไส้ใหญ่ ส่วน rectum ส่วนของช่องเชิงกรานที่อยู่ระหว่างมดลูกและ rectum เรียกว่า **Rectouterine pouch หรือ Cul de sac**

ส่วนบนหรือยอดมดลูก (fundus) ถัดลงมาจะแคบลงเรียกว่า ตัวมดลูก (body) ซึ่งจะมาสิ้นสุดตรงบริเวณปากมดลูก (cervix) ตรงบริเวณรอยคอดระหว่าง body และ cervix เรียกว่า isthmus ช่องว่างภายในมดลูกเรียกว่า uterine cavity ในหญิงที่ยังไม่เคยตั้งครรภ์มดลูกจะมีรูปร่างค่อนข้างแบน โพรงภายในมดลูกจะเป็นช่องแคบ ๆ ในท่าปกติมดลูกจะงอพับมาทางด้านหน้าและทำมุมประมาณ 110 องศากับช่องคลอด



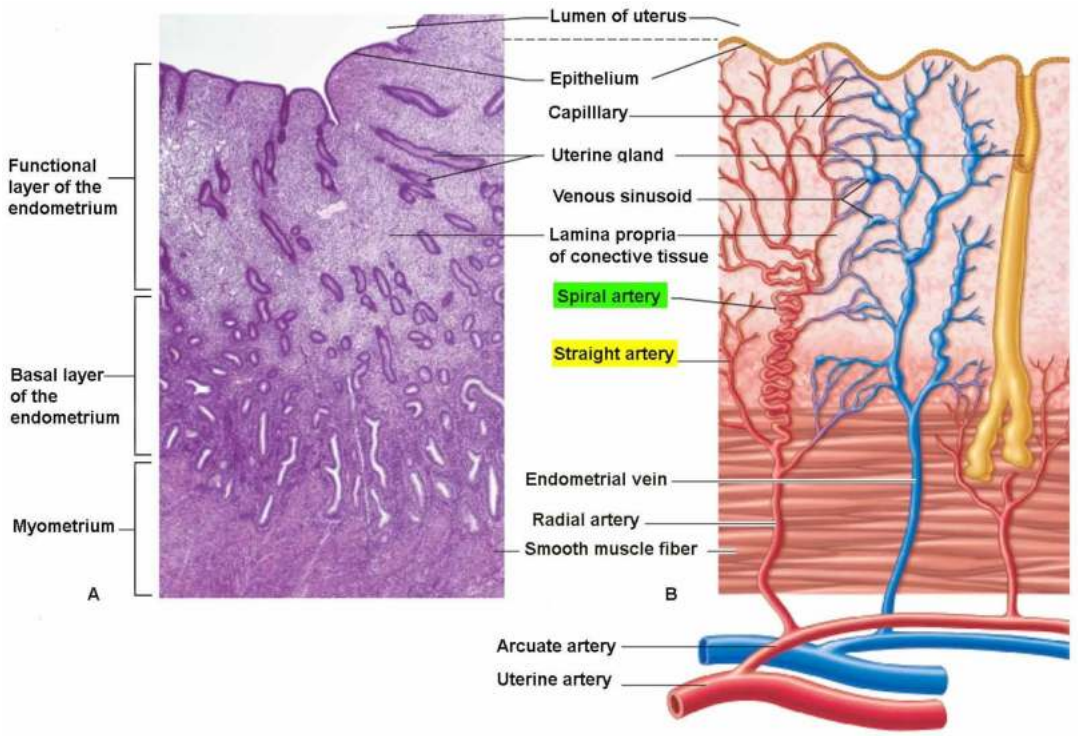

รูปที่ 12-5 แสดงอวัยวะสืบพันธุ์เพศหญิง และการเรียกชื่อส่วนต่างๆ ของอวัยวะนั้น

ผนังของมดลูก แบ่งออกเป็น 3 ชั้น เรียงจากนอกเข้าไปข้างใน ดังนี้

**1) ชั้น serosa หรือ perimetrium** ประกอบด้วยเซลล์ชั้นเดียว และติดต่อเป็นผืนเดียวกับเยื่อบุช่องท้อง

**2) ชั้นกล้ามเนื้อ หรือ myometrium** เป็นชั้นที่หนาที่สุด ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบหนา 12-15 มม. ชั้นในสุดกล้ามเนื้อเรียงตัวตามยาว ชั้นกลางเรียงตัวเป็นวงกลมและเฉียง ๆ ที่วงชั้นในจะเรียงตัวตามยาว ชั้นกล้ามเนื้อของมดลูกจะบางลงในขณะตั้งครรภ์ เนื่องจากมดลูกขยายตัวมากขึ้น

**3) ชั้นในสุดเรียกว่า endometrium** เป็นชั้นที่มีลูกการเปลี่ยนแปลงตามรอบเดือนชั้นนี้ประกอบด้วยเนื้อบุผิวชนิด simple columnar เนื้อบุผิวนี้จะหวำตัวลงไปประกอบขึ้นเป็นต่อมเรียก uterine gland ชั้น endometrium แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ basal layer และ functional layer ชั้น basal layer ได้รับการหล่อเลี้ยงจาก straight arteries ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงในรอบเดือน ส่วนชั้น functional layer เลี้ยงโดย spiral arteries ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตามรอบเดือน รูปที่ 12-6




รูปที่ 12-6 แสดงหลอดเลือด straight artery และ spiral artery ที่ไปเลี้ยงผนังของมดลูก

### 1.2.3 ปกมดลูก หรือ ท่อนำไข่ (uterine tube หรือ fallopian tube หรือ oviduct)

ปกมดลูก หรือ ท่อนำไข่ มี 2 ท่อ มีความยาวประมาณ 10 ซม. วางอยู่ที่ขอบบนของ Broad ligament ส่วนของ broad ligament ที่ติดกับท่อนำไข่มีชื่อเรียกว่า mesosalpinx ปลายด้านในของท่อนำไข่จะต่อกับมดลูก ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะเปิดเข้าสู่ช่องเชิงกราน มีลักษณะเป็นปากแตร เรียกว่า **Fimbria**

Fimbria ทำหน้าที่โบกไข่เข้าสู่ท่อมดลูก ข้อเสียของการที่ปลายท่อนำไข่เปิดเข้าสู่ช่องเชิงกรานคือเป็นทางนำเชื้อจากภายนอกร่างกายเข้าสู่ช่องเชิงกราน ทำให้เกิดการอักเสบหรือติดเชื้อของปีกมดลูก

ท่อนำไข่ แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

**1) Isthmus** เป็นส่วนที่ติดกับมุมบนของมดลูก เป็นส่วนที่แคบมากและสั้นสุด

**2) Ampulla** เป็นส่วนที่กว้างและยาวที่สุด เป็นบริเวณที่เหมาะสำหรับการปฏิสนธิ

**3) Infundibulum** เป็นส่วนปลายทางด้าน ข้างโค้งไปสู่รังไข่ ตอนปลายจะแตกเป็นแฉกๆ เรียกว่า Fimbriae

### 1.2.4 รังไข่ (Ovary)

รังไข่ทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ สร้างเซลล์ไข่ (Oogenesis) และสร้างฮอร์โมนเพศหญิง ผู้หญิงสร้างเซลล์ไข่เดือนละ 1 ใบจากเซลล์ไข่ตั้งต้นโอโอโกเนีย (Oogonia) ซึ่งมีจำนวนคงที่

รังไข่มี 1 คู่ รูปร่างรีแบน ขนาดยาว 2.5-5 ซม. กว้าง 1.5-3 ซม. และหนา 0.6-1.5 ซม. รังไข่จะอยู่ใน แอ่งชื่อ ovarian fossa แขวนจากด้านข้างของผนังเชิงกรานโดย suspensory ligament of ovary ซึ่งภายใน ligament นี้จะมีหลอดเลือด หลอดน้ำเหลือง และเส้นประสาทที่มาสู่รังไข่ รังไข่จะยึดติดกับมดลูกด้วย ovarian ligament นอกจากนี้ยังห้อยติดกับเยื่อบุช่องท้องที่คลุมมดลูกไว้ ด้วย mesovarium

รังไข่จะถูกปกคลุมด้วยเยื่อบุผิวชนิดพิเศษ เรียกว่า germinal layer หรือ germinal epithelium มีลักษณะเป็นเซลล์เยื่อบุรูปร่างลูกบาศก์ ใต้ต่อชั้นนี้เป็นชั้น stroma ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อยึดต่อและไข่ (ova) ในระยะต่าง ๆ

เนื้อรังไข่จะมี 2 ชั้น คือ

**1. รังไข่ชั้นนอก (cortex)** ประกอบด้วยถุงไข่ที่เจริญอยู่ในชั้นต่างๆ ได้แก่ ถุงไข่อ่อน (primodial follicle) ถุงไข่ปฐมภูมิ (primary follicle) ถุงไข่ทุติยภูมิ (secondary follicle) และถุงไข่ที่เจริญเต็มที่หรือถุงไข่กราเฟียน (graffian follicle) รวมทั้ง คอร์ปัสลูเทียม (corpus luteum)

**1.1 ถุงไข่อ่อน (primodial follicle)** ประกอบด้วยเซลล์ไข่ (oocyte) ซึ่งถูกล้อมรอบด้วยเซลล์แกรนูโลซา (granulosa) เซลล์อยู่ในระยะ prophase ของการแบ่งตัวแบบไมโอซิส ครั้งที่ 1 และไม่เจริญต่อจากขั้นนี้ เนื่องจากสารยับยั้งการเจริญ (meiosis inhibiting factor) ซึ่งหลั่งจากเซลล์แกรนูโลซา การแบ่งตัวจะดำเนินการต่อเมื่อเข้าสู่วัยแรกรุ่นเท่านั้น

**1.2 ถุงไข่ปฐมภูมิ (primary follicle)** เซลล์ไข่เจริญขึ้น ถูกล้อมรอบด้วยเซลล์แกรนูโลซา เซลล์แกรนูโลซานี้มีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วและมีตัวรับสัญญาณ FSH (FSH receptor) เซลล์ไข่หลั่งสารไกลโคโปรตีน ทำให้เกิดชั้นโซนา เพลลูซิดา (zona pellucida) แยกเซลล์ไข่ออกจากเซลล์แกรนูโลซา

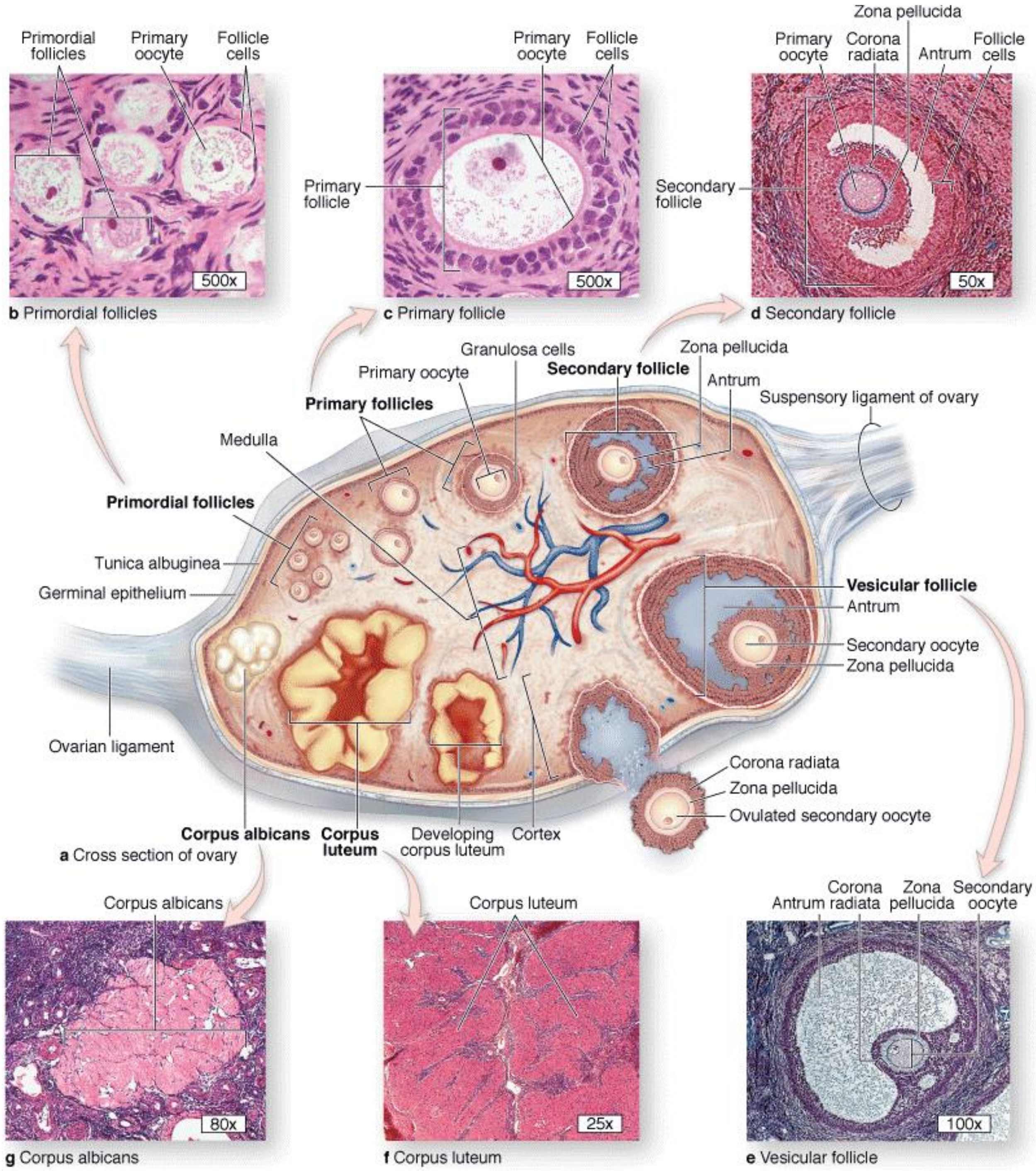
**1.3 ถุงไข่ทุติยภูมิ (secondary follicle)** เซลล์ไข่จะเจริญเติบโตเต็มที่ เซลล์แกรนูโลซามีหลายชั้น เซลล์มีเซนไคม์ (mesenchymal cells) ที่ล้อมรอบถุงไข่อ่อน มีเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ทีคา (theca) ในชั้นทีคานี้มีตัวรับสัญญาณของ LH (LH receptor) และจะมีเลือดมาเลี้ยงเซลล์ไข่ และเซลล์ไข่ที่อยู่ในถุงไข่นี้แบ่งตัวแบบไมโอซิสต่อ และอยู่ในขั้นเมทาเฟส I (metaphase I)

**1.4 ถุงไข่กราเฟียน (graffian follicle)** เป็นถุงไข่ที่เจริญเต็มที่ เซลล์แกนูโลซาเพิ่มจำนวนมากขึ้น และมีการสะสมของของเหลวในถุงไข่ (follicular fluid) ทำให้เกิดเป็นของเหลวตรงกลาง เรียกว่า แอนทรัม (antrum) เซลล์ถุงไข่กราเฟียนแบ่งตัวแบบไมโอซิสถึงขั้นเมทาเฟส II (metaphase II) และจะไม่เจริญต่อจนกว่าจะได้รับการผสมกับอสุจิ

ของเหลวในถุงไข่ (follicular fluid) ประกอบด้วย โปรตีน ฮอร์โมนเพศ (FSH และ LH) และเอ็นไซม์ต่างๆ เช่น พลาสมิน (plasmin) คอลลาจิเนส (collagenase) เปปทิเดส (peptidase) และ ไฮยาลูโรนิเดส (hyaluronidase) ที่สำคัญ คือ พลาสมิน และคอลลาจิเนส ปัจจุบันเชื่อว่าเป็นเอ็นไซม์ที่ทำให้ถุงไข่อ่อนตัว เป็นผลให้เกิดการตกไข่

เด็กแรกคลอด รังไข่จะมีถุงไข่อ่อนประมาณ 2 ล้านใบ แต่เนื่องจากไข่ไม่มีการแบ่งตัวและมีการฝ่อเกิดขึ้นตลอดเวลา เมื่อเข้าสู่วัยรุ่น จะมีไข่เหลือประมาณ 4 แสนใบ จากจำนวนนี้ทั้งหมดจะมีเพียง 400 ใบเท่านั้นที่เจริญไปเป็นถุงไข่กราเฟียน ในแต่ละเดือนจะมีการตกไข่เพียง 1 ใบ จากรังไข่ทั้ง 2 ข้างสลับกัน

**2. รังไข่ชั้นใน (medulla)** มีหลอดเลือดและเส้นประสาทมาเลี้ยง




รูปที่ 12-7 แสดงรังไข่แบ่งเป็น 2 ซีก แสดงชั้น cortex และ medulla รังไข่ถูกคลุมด้วย germinal epithelium ในชั้น cortex จะพบ follicles ในระยะต่างๆ

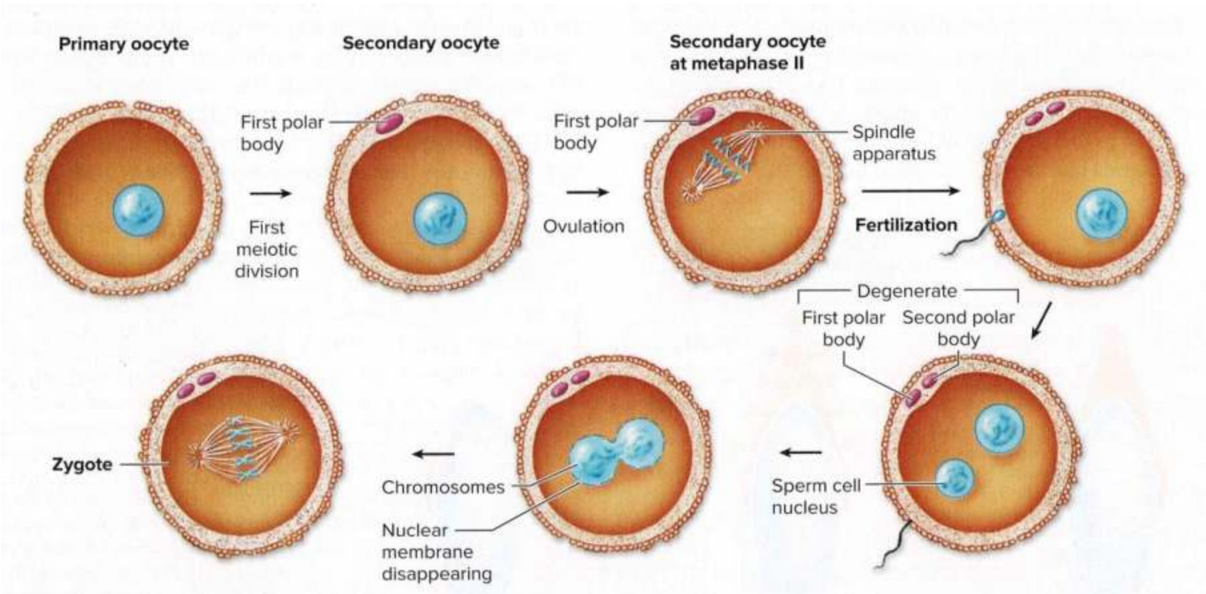
**************************************

# ตอนที่ 2
# หน้าที่ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง

## 2.1 การสร้างเซลล์ไข่ (Oogenesis)

เซลล์โอโอโกเนีย (oogonia) ทั้งหมดในรังไข่ของตัวอ่อนในครรภ์ จะพัฒนาเป็นเซลล์ไข่ปฐมภูมิ (primary oocyte) จากนั้นเริ่มมีการแบ่งตัวแบบไมโอซิส (Meiosis) ครั้งที่ 1 โดยการสร้าง DNA เพิ่มขึ้น (4n) เมื่อคลอดเซลล์ไข่อยู่ในขั้นปฐมภูมิซึ่งมีโครโมโซม 46 อัน แต่ละโครโมโซมมี 2 โครมาทิด เซลล์จะหยุดการเจริญ ตลอดวัยเด็ก

เมื่อถึงวัยแรกรุ่น รังไข่เริ่มทำงาน เซลล์ไข่ปฐมภูมิแบ่งตัวต่อให้เซลล์ไข่ทุติยภูมิ (secondary oocyte) ซึ่งมีโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง (23 โครโมโซม 46 โครมาทิด, 2nDNA) และโพลาร์บอดีอันที่ 1 (first polar body) การแบ่งตัวแบบไมโอซิสครั้งที่ 2 เกิดขึ้นขณะที่เซลล์อยู่ในท่อนำไข่หลังจากตกไข่ และได้รับการผสมกับเชื้ออสุจิแล้ว เมื่อการแบ่งตัวแบบไมโอซิสครั้งที่ 2 เสร็จสมบูรณ์จะได้ไข่ที่เจริญเต็มที่ (mature ovum) ซึ่งมีโครโมโซม 23 อันและโพลาร์บอดีอันที่ 2 (second polar body)




รูปที่ 12-8 แสดงพัฒนาการของการสร้างเซลล์ไข่

## 2.2 รอบเดือน

ระบบสืบพันธุ์เพศหญิงมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นวงจรหรือเป็นรอบ แต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 28 วัน การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดที่รังไข่ มดลูก และอวัยวะเพศส่วนอื่นๆ เช่น ปากมดลูก โดยเฉพาะที่มดลูกมีการสลายเซลล์ที่บุผนังมดลูกทำให้เกิดเป็นประจำเดือน รอบเดือนนี้เป็นผลของการออกฤทธิ์ร่วมระหว่างฮอร์โมนจากไฮโปทาลามัส ต่อมใต้สมองส่วนหน้า และรังไข่ รอบเดือนนี้เริ่มนับวันที่มีประจำเดือนวันแรกเป็นวันที่ 1

### 2.2.1 การเปลี่ยนแปลงที่รังไข่ (Ovarian cycle)

การเจริญของถุงไข่ (follicle) ซึ่งมีเซลล์ไข่อยู่ภายใน เรียกว่า **Folliculogenesis** แบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ ระยะฟอลิคูลาร์ (Follicular phase) ได้แก่ ช่วง 14 วันแรกของรอบเดือน และระยะลูเทียม (Luteal phase) เริ่มหลังจากการตกไข่จนกระทั่งมีการสลายตัวของคอปัสลูเทียมซึ่ง ได้แก่ 14 วันหลังของรอบเดือน

**1) ระยะฟอลิคูลาร์ (Follicular phase)**

เป็นช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของถุงไข่อ่อนเกิดขึ้นเมื่อผู้หญิงเข้าสู่วัยแรกรุ่น ภายใต้อิทธิพลของ FSH และ LH ถุงไข่อ่อนจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เซลล์แกรนูโลซาเพิ่มจำนวนและมีการสะสมของของเหลวในถุงไข่ การเจริญของถุงไข่อ่อนเป็นถุงไข่ขั้นปฐมภูมิ ทุติยภูมิและถุงไข่กราเฟียน ในแต่ละรอบเดือนในช่วงสัปดาห์แรกถุงไข่อ่อนประมาณ 6-12 ฟองจะเจริญเติบโต ในสัปดาห์ที่สองจะมีถุงไข่อ่อนที่เรียกว่า dominant follicle เพียงใบเดียวที่ผ่านกระบวนการคัดเลือกและสามารถเจริญเป็นถุงไข่กราเฟียนได้ เชื่อว่าเอสโทรเจนที่สร้างจากถุงไข่ช่วยเร่งให้มีการเจริญเติบโตของเซลล์ไข่ใบนั้นจนเกิดการตกไข่ ถุงไข่นอกนั้นจะฝ่อไป

ในระยะฟอลิคูลาร์นี้ FSH กระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์แกรนูโลซาและการสร้างฮอร์โมนเอสโทรเจน ในขณะที่ LH กระตุ้นการแบ่งเซลล์ และการสร้างฮอร์โมนแอนโดรเจนในเซลล์ทีคาชั้นใน ซึ่งแอนโดรเจนนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นเอสโทรเจนในเซลล์แกรนูโลซาโดยเอนไซม์ aromatase ทั้ง FSH และเอสโทรเจนกระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์แกรนูโลซามีผลให้ถุงไข่เจริญเติบโตมากขึ้น นอกจากนี้เซลล์แกรนูโลซาสามารถสร้างและหลั่งฮอร์โมนอินฮิบิน

ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนต่าง ๆ ในเลือด เช่น อินฮิบิน เอสโทรเจน โพรเจสเทอโรน และโกนาโดโทรฟิน ตามวันต่าง ๆ ของรอบเดือน  ลักษณะที่สำคัญที่พบในระยะนี้คือ ในช่วงแรกของระยะฟอลิคูลาร์อัตราส่วนของ LH/FSH จะมีค่าน้อยกว่า 1 โพรเจสเตอโรนและอินฮิบินมีระดับต่ำแต่ระดับเอสทราไดออลจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดในช่วงหลัง เอสโทรเจนที่หลั่งออกมามากช่วงนี้จะช่วยเพิ่มการตอบสนองของเซลล์แกรนูโลซาที่มีต่อ FSH และช่วยเพิ่มความไวของต่อมใต้สมองในการตอบสนองต่อ GnRH ดังนั้นจึงเพิ่มการหลั่ง FSH และ LH ทำให้ระดับ LH เพิ่มขึ้นสูงสุดเรียกว่า **LH surge** ในช่วง LH surge นี้อัตราส่วนของ LH/FSH จึงมีค่ามากกว่า 1

LH surge จะกระตุ้นให้เซลล์แกรนูโลซาสร้างโพรเจสเทอโรนเพิ่มขึ้น แต่สร้างเอสโทรเจนน้อยลงทำให้ระดับของเอสทราไดออลลดลง หลังจากเกิด LH surge ประมาณ 35 ชม. จึงเกิดการตกไข่

**2) การตกไข่ (Ovulation)**

โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในวันกึ่งกลางของรอบเดือนคือวันที่ 14 ถ้ารอบเดือนเป็น 28 วัน ก่อนถึงวันตกไข่โพรงแอนทรัมที่ล้อมเซลล์ไข่ในถุงไข่กราเฟียนจะขยายโตขึ้นมากประมาณวันที่ 14 ของรอบเดือน ถุงไข่กราเฟียแตกออกและปล่อยไข่ที่โตเต็มที่ ที่มีเยื่อหุ้มโซนาเพลลูซิดา (zona pellucida) ติดมาออกสู่ช่องท้องเซลล์ไข่จะถูกพัดโบกเข้าสู่ท่อรังไข่ทางฟิมเบรีย (fimbria) และจะปฏิสนธิ (fertilization) กับเชื้ออสุจิที่ส่วนกลางของท่อตัวอ่อนที่ได้ถูกเคลื่อนย้ายมาฝังตัวและเจริญเติบโตในโพรงมดลูกต่อไป แต่ถ้าไม่ได้รับการปฏิสนธิเซลล์ไข่จะฝ่อและหลุดออกมาทางช่องคลอด

การตกไข่มีกลไกเนื่องมาจาก 2 สาเหตุคือ ก) การอ่อนตัวลงของถุงไข่เนื่องจากถูกย่อยด้วยคอลาจิเนส (collagenase) และ พลาสมิน (plasmin) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในของเหลวในถุงไข่ (follicular fluid) และ ข) การบวมของถุงไข่ เนื่องจากการสะสมของของเหลวในถุงไข่ซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มระดับของ LH ในช่วงก่อนการตกไข่ทำให้มีเลือดเข้ามาเลี้ยงรังไข่และถุงไข่มาก

**3) ระยะลูเทียม (Luteal phase)**

หลังจากตกไข่ รังไข่บริเวณนั้นจะมีเลือดออกเล็กน้อยเห็นเป็นสีแดง เรียกว่า **corpus hemorrhagicum** ส่วนของเซลล์แกรนูโลซาและเซลล์ทีคาที่ค้างอยู่จะเปลี่ยนแปลงเป็นคอร์ปัสลูเทียม (corpus luteum) เซลล์ที่เกิดใหม่จะมีสีเหลืองเรียกว่าเซลล์ลูเทียม (luteal cells) ทำหน้าที่สร้างเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรน เรียกกระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า **ลูเทียไนเซชั่น (luteinization)** คอร์ปัสลูเทียม จะมีอายุประมาณ 14 วัน เมื่อไม่มีการตั้งครรภ์ก็จะฝ่อสลายไป โดยจะเริ่มฝ่อในวันที่ 24 ของรอบเดือน เซลล์บริเวณดังกล่าวจะตายมีลักษณะเป็น**คอร์ปัสอัลบิแคนส์**

**(corpus albican)** เหลือค้างอยู่ เรียกกระบวนการเปลี่ยนแปลงระยะนี้ว่า ลูทีโอไลซีส (luteolysis) กระบวนการเกิดลูทีโอไลซีส ยังไม่ทราบแน่ชัด

การเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนในเลือดในระยะลูเทียม ลักษณะสำคัญที่พบคือระดับของ โพรเจสเทอโรนและเอสโทรเจนจะเพิ่มขึ้นมากในระยะกึ่งกลางของระยะลูเทียม ระดับของโกนาโคโทรฟินต่ำ เนื่องจากการเพิ่มของเอสโทรเจนโพรเจสเทอโรนและอินฮิบิน การลดลงของเอสโทรเจนและไพรเจสเทอโรนในช่วงท้ายของระยะลูเทียมเนื่องจากการฝ่อสลายของคอร์ปัสลูเทียม

**2.2.2 การเปลี่ยนแปลงที่มดลูก**

แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

**1) ระยะการแบ่งตัวของผนังมดลูก (Proliferative phase)** เป็นระยะที่เยื่อบุมดลูก (endometrium) เริ่มมีการเจริญเติบโต หลังมีประจำเดือน ชั้นบางๆ ของเยื่อบุมดลูกที่ค้างอยู่จะเริ่มแบ่งเซลล์ สร้างเซลล์ใหม่ขึ้นทดแทนเซลล์เก่าที่หลุดออกไป โดยได้รับการกระตุ้นจากเอสโทรเจนที่หลั่งมาจากถุงเซลล์ไข่ที่ค่อยๆ เจริญเติบโต ต่อมภายในเยื่อบุมดลูกมีท่อยาวขึ้น เส้นเลือดที่ยาวขึ้นและมีเลือดมาเลี้ยงมาก การเปลี่ยนแปลงของเยื่อบุมดลูกในระยะนี้ตรงกับระยะฟอลิคูลาร์ในรังไข่

**2) ระยะการหลั่งสาร (Secretory phase)**

เป็นระยะที่เตรียมเยื่อบุมดลูกสำหรับการฝังตัวของตัวอ่อนซึ่งตรงกับระยะลูเทียมในรังไข่ หลังจากการตกไข่จะมีเลือดเข้ามาเลี้ยงเยื่อบุมดลูกมากขึ้น ทำให้เกิดการบวมด้วยน้ำ ต่อมภายในเยื่อบุมดลูกจะยาวขึ้นและขดไปมาเซลล์ของต่อมจะหลั่งของเหลวออกมา การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลของเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรน เมื่อไม่มีการฝังตัวของตัวอ่อน ฮอร์โมนจากรังไข่จะลดลงอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้เยื่อบุมดลูกบางลงและเส้นเลือดแดงชนิดที่ขดเกิดการตีบ เยื่อบุมดลูกส่วนบน ๆ ที่ขาดเลือดไปเลี้ยงก็จะหลุดลอกออก เรียกว่า **ประจำเดือน** และเริ่มเข้าสู่ระยะการแบ่งตัวของผนังมดลูก (proliferative phase) ของรอบเดือนใหม่ นอกจากนี้การสลายของเยื่อบุมดลูกยังเนื่องมาจากพรอสทาแกลนดิน (prostaglandins) ที่หลั่งมาจากเซลล์ของเยื่อบุมดลูกเองด้วย แต่ถ้ามีการฝังตัวของตัวอ่อนเยื่อบุมดลูกจะเปลี่ยนแปลงเป็นรกต่อไป

ประจำเดือนประกอบด้วยเลือดจากเลือดแดงซึ่งมีประมาณ 75% ของเลือดที่เสียไป นอกนั้นเป็นเนื้อเยื่อที่ตายแล้ว และ prostaglandins เนื่องจาก prostaglandins ทำให้มดลูกบีบตัว บางคนจึงรู้สึกปวดมดลูกเวลามีประจำเดือนโดยทั่วไปจะเสียเลือดไปประมาณ 30 มล. ในเวลา 3-5 วัน

**3) การเปลี่ยนแปลงที่อวัยวะอื่น ๆ**

การขับน้ำเมือกโดยเซลล์ของปากมดลูกจะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับของเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนเช่นกัน ในภาวะที่เอสโทรเจนในเลือดสูงก่อนการตกไข่น้ำเมือกจะใสและมีจำนวนมาก ถ้าทำการป้ายน้ำเมือกจากปากมดลูกลงบนแผ่นแก้วใสและปล่อยทิ้งให้แห้งแล้วดูใต้กล้องจุลทรรศน์จะเห็นว่าน้ำเมือกตกผลึกเป็นรูปคล้ายใบเฟิร์นเรียกว่า **Fern test** แต่น้ำเมือกที่ออกมาภายใต้อิทธิพลของโพรเจสเทอโรนจะข้นเหนียวและมีจำนวนน้อย

นอกจากนี้เอสโทรเจนจะกระตุ้นเซลล์ของผนังช่องคลอดให้แบ่งตัว ช่วยเพิ่มจำนวนชั้นของเซลล์ทำให้ทนต่อการติดเชื้อและการบาดเจ็บ ส่วนในท่อรังไข่เซลล์ที่บุท่อจะเจริญเติบใดหลั่งสารอาหารเตรียมพร้อมสำหรับการปฏิสนธิของเซลล์ไข่และเชื้ออสุจิ ต่อมน้ำนมก็จะถูกกระตุ้นทำให้มีอาการคัดเต้านมในระยะก่อนมีประจำเดือนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะหายไปหลังการมีประจำเดือน อุณหภูมิของร่างกายก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤทธิ์ของโพรเจสเทอโรนซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงเวลาของการตกไข่ เมื่อมีการตกไข่อุณหภูมิของร่างกายจะเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิของร่างกายในระยะตูเทียมจะสูงกว่าในระยะฟอลิคูลาร์

## 2.3 ฮอร์โมนเพศหญิง

### 2.3.1 เอสโทรเจน (estrogen)

เอสโทรเจนเป็นฮอร์โมนชนิดสเตอรอยด์  ฮอร์โมนที่สำคัญในกลุ่มนี้คือ เอสทราไดออล (estradiol) เอสโทรน (estrone) และเอสทริออล (estriol) เอสทราไดออลออกฤทธิ์ได้แรงกว่าฮอร์โมนสองชนิด ส่วนใหญ่สร้างมาจากรังไข่ที่เซลล์แกรนูโลซา และ คอร์ปัสลูเทียม ส่วนน้อยมาจากต่อมหมากไตชั้นนอก ในระหว่างการตั้งครรภ์สร้างมาจากรก

**หน้าที่ของเอสโทรเจน**

1. กระตุ้นให้มีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนเซลล์ของระบบสืบพันธุ์ ทำให้มีการเจริญเติบโตของอวัยวะเพศภายในและภายนอก
2. กระตุ้นการเจริญของรังไข่และถุงไข่โดยเพิ่มการตอบสนองของเซลล์แกรนูโลซาต่อ FSH
3. กระตุ้นร่างกายให้มีลักษณะของเพศหญิงทุติยภูมิ (female secondary sex characteristic) เช่น ช่วงไหล่แคบ สะโพกผาย และมีการสะสมของไขมัน ฯลฯ
4. กระตุ้นเซลล์ของปากมดลูกให้หลั่งน้ำเมือกใสออกมาจำนวนมาก ช่วยในการเคลื่อนที่ของเชื้ออสุจิไปยังมดลูก
5. กระตุ้นการหดตัวของกล้ามเนื้อมดลูก
6. กระตุ้นการเจริญเติบโตของเต้านมโดยเฉพาะส่วนของท่อ
7. กระตุ้นการหลั่งของของเหลวจากต่อมไขมัน
8. กระตุ้นการพัฒนาของขนที่อวัยวะเพศให้เป็นแบบผู้หญิง
9. กระตุ้นการเจริญเติบโตของกระดูกทำให้ตัวสูงขึ้นมากในช่วงวัยแรกรุ่นและทำให้ epiphyseal plate ปิดหลังวัยแรกรุ่น
10. ป้องกันโรคกระดูกพรุน
11. มีผลต่อเส้นเลือดถ้าขาดเอสโทรเจนทำให้เกิดอาการร้อนวูบวาบ
12. ทำให้เกิดอาการบวมน้ำ
13. กระตุ้นการหลั่งของฮอร์โมนโพรแลกทิน แต่ยับยั้งการไหลของน้ำนม
14. ป้องกันโรคหลอดเลือดแข็ง

### 2.3.2 โพรเจสทิน (Progestins)

โพรเจสทินเป็นฮอร์โมนชนิดสเตอรอยด์ ตัวฮอร์โมนที่สำคัญของกลุ่มนี้ ได้แก่ โพรเจสเทอโรน (progesterone) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับฮอร์โมนในกลุ่มเอสโทรเจนและแอนโดรเจน โพรเจสเทอโรนในสตรีที่ไม่ตั้งครรภ์ส่วนใหญ่มาจากคอร์ปัสลูเทียม ระดับฮอร์โมนในเลือดจะต่ำสุดในระยะฟอลิคูลาร์ แต่ปริมาณจะเพิ่มขึ้นในช่วงกลางของระยะลูเทียม โพรเจสเทอโรนมีหน้าที่ ดังนี้

1. เตรียมระบบสืบพันธุ์เพศหญิงสำหรับการฝังตัวของตัวอ่อนโดยกระตุ้นการหลั่งสารต่างๆจากเนื้อเยื่อบุมดลูก
2. ลดการทำงานของกล้ามเนื้อมดลูกจึงช่วยให้แท้งซึ่งการออกฤทธิ์ของโพรเจสเทอโรนนั้นมดลูกจะต้องได้รับการกระตุ้นจากเอสโทรเจนมาก่อน
3. กระตุ้นเซลล์ปากมดลูกให้ขับเมือกที่เหนียวและข้น เพื่อขัดขวางการเคลื่อนที่ของเชื้ออสุจิ
4. กระตุ้นการพัฒนาของเต้านมโดยออกฤทธิ์เสริมกับเอสโทรเจนในระหว่างตั้งครรภ์จะทำงานร่วมกับฮอร์โมนจากรก
5. ควบคุมการหลั่งของโกนาโดโทรฟิน

## 2.4 การควบคุมการทำงานของรังไข่

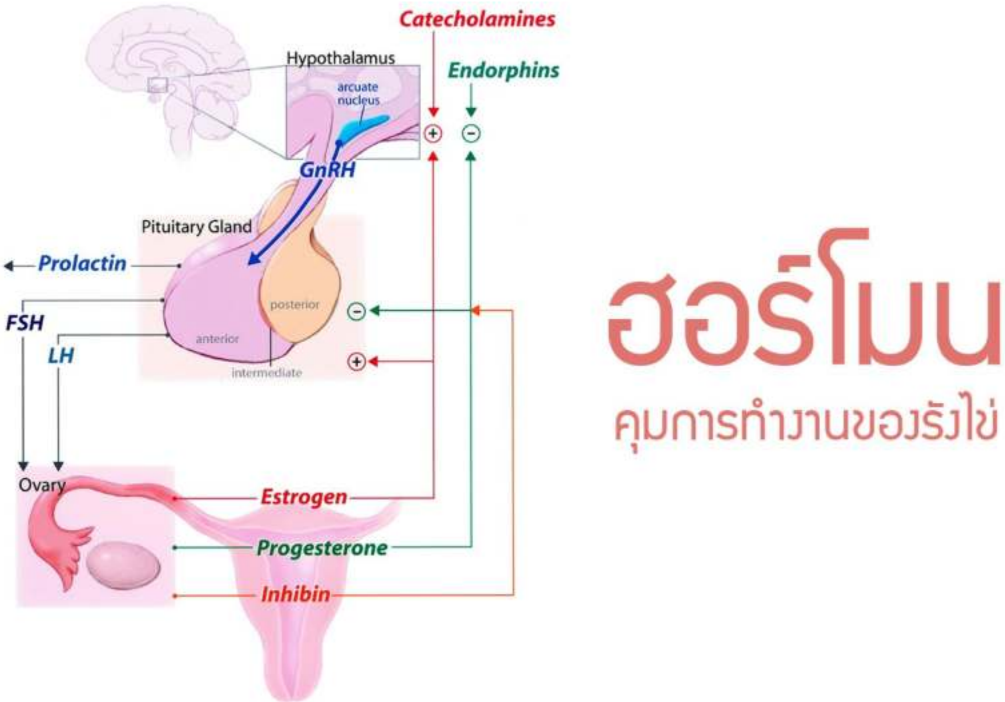
การทำงานของรังไข่ถูกควบคุมโดยฮอร์โมนโกนาโดโทรฟิน ซึ่งหลั่งมาจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า โดยความสัมพันธ์ระหว่างไฮโปทาลามัส ต่อมใต้สมอง และรังไข่ แสดงในรูปที่ 12-9

Hypothalamus (ต่อมใต้สมอง) ทำการหลั่ง GnRH เพื่อไปกระตุ้น Pituitary

Pituitary gland (ต่อมพิทูอิทารี่) ทำการหลั่ง FSH (Follicular Stimulating Hormone) และ LH (Luteinizing Hormone) เพื่อกระตุ้น Ovary

Ovary (รังไข่) ทำหน้าที่ในการสร้าง Egg (ไข่) ซึ่งเป็นเซลล์หลักในการขนส่งสารพันธุกรรม เพื่อการกำเนิดชีวิต และรังไข่ยังหลั่ง Estrogen (อีสโตรเจน) Progesterone (โปรเจนเตอโรน) Inhibin (อินฮิบิน)

Uterus (มดลูก) ทำหน้าที่หนาตัวขึ้น เป็นรอบๆ เพื่อรอรับการฝังตัวของ ไข่ที่รับการปฏิสนธิแล้ว และเป็นบ้านสำหรับชีวิตใหม่ที่กำลังเกิดขึ้น

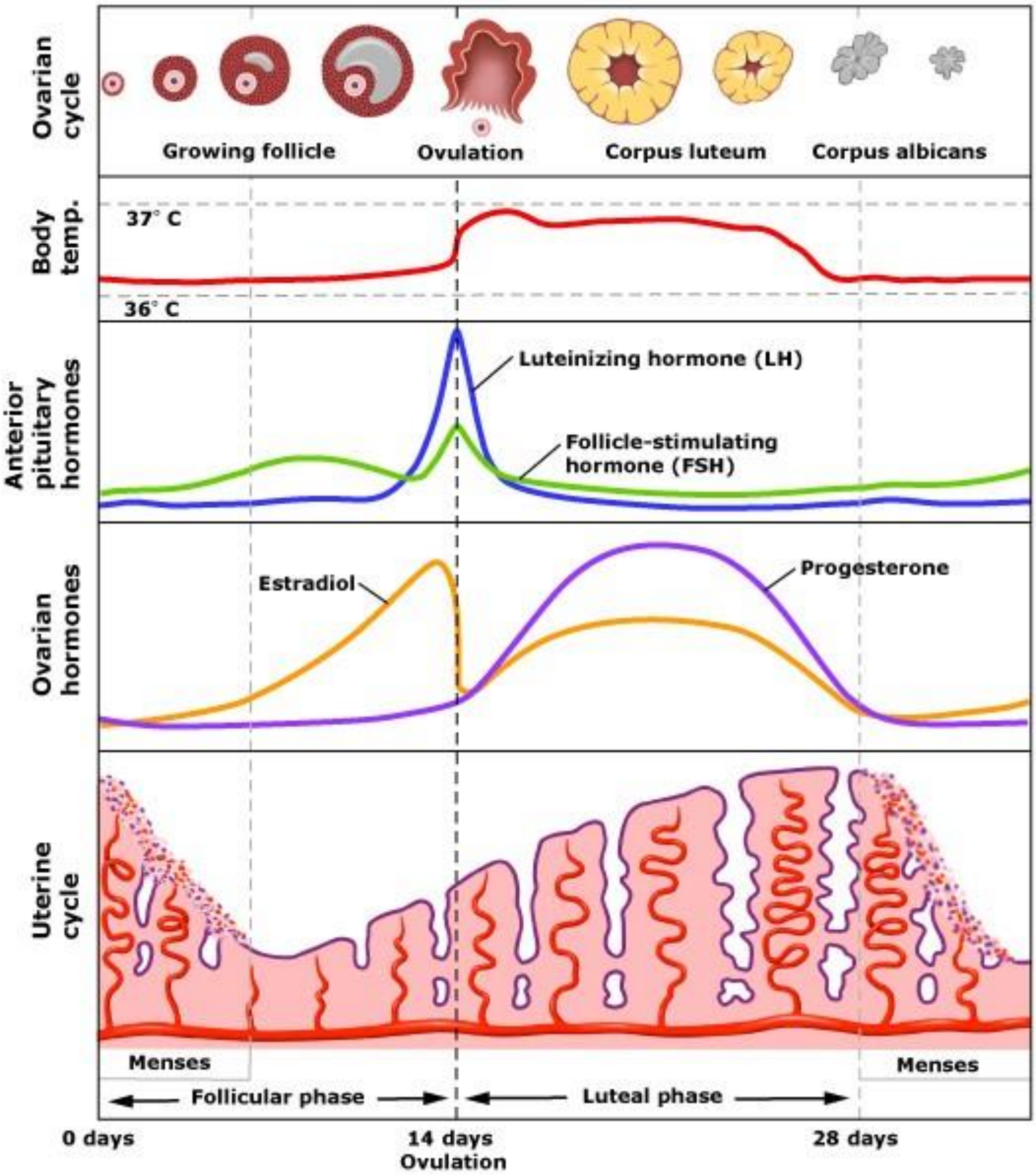



รูปที่ 12-9 แสดงฮอร์โมนควบคุมการทำงานของรังไข่

LH จะมากระตุ้นเซลล์ทีคาให้สร้างแอนโดรเจน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นเอสโทรเจนที่เซลล์แกรนูโลซา ส่วน FSH จะเร่งให้มีการพัฒนาของเซลล์แกรนูลาเพื่อให้สร้างเอสโทรเจน โพรเจสเทอโรน และอินฮิบิน ในช่วงแรกของระยะฟอลิคูลาร์ ระดับเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนต่ำ การหลั่งของ FSH และ LH ไม่ถูกยับยั้ง ดังนั้นจึงมีระดับค่อนข้างสูง เมื่อถุงไข่เจริญเติบโตทำให้มีการหลั่งของเอสโทรเจนเพิ่มขึ้นจึงมีผลยับยั้งการหลั่งของ FSH และ LH และ GnRH จากต่อมใต้สมองและไฮโปทาลามัส ตามลำดับ การควบคุมนี้เป็นการควบคุมแบบยับยั้งย้อนกลับ

ก่อนการตกไข่ FSH และ LH จะมีระดับต่ำลงในขณะที่เอสโทรเจนเพิ่มระดับขึ้นสูงมาก เอสโทรเจนที่เพิ่มขึ้นจะมาควบคุมการทำงานของต่อมใต้สมองส่วนหน้าและไฮโพทาลามัส เอสโทรเจนออกฤทธิ์ต่อต่อมใต้สมองส่วนหน้าโดยจะเตรียมต่อมเพื่อตอบสนองต่อ GnRH เพิ่มการหลั่งของ FSH และ LH เป็นการควบคุมแบบกระตุ้นย้อนกลับ เป็นผลให้เกิด LH surge การควบคุมป้อนกลับเชิงบวกนี้พบในเพศหญิงเท่านั้น

หลังจากการตกไข่ คอร์ปัสลูเทียมสร้างและหลั่งฮอร์โมนเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนมาก ซึ่งมีผลย้อนกลับไปยับยั้งการหลั่งของ FSH และ LH อินฮิบินจะออกฤทธิ์ยับยั้งการหลั่ง FSH ที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้า



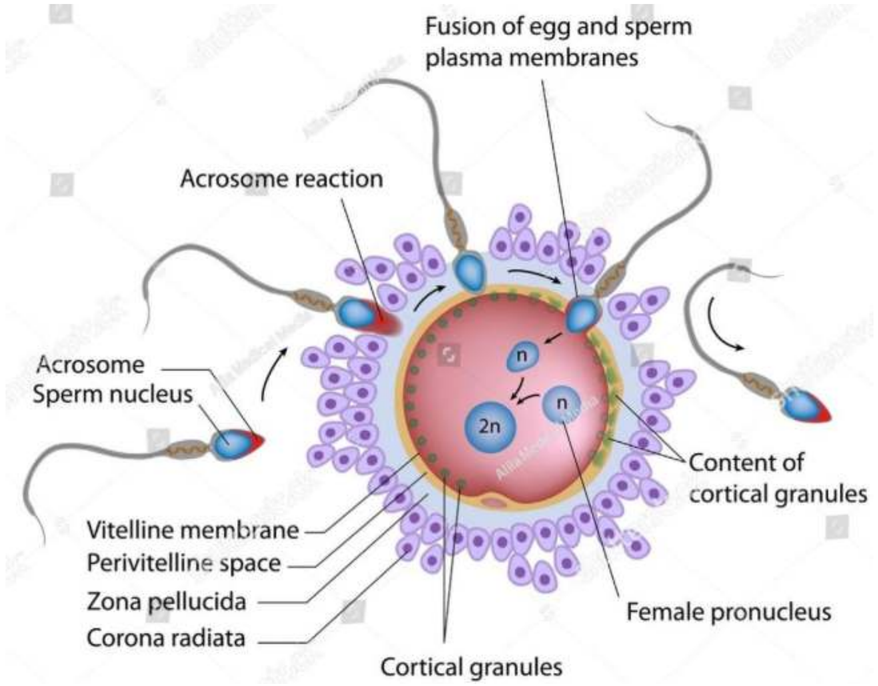

รูปที่ 12-10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนในวงรอบการมีประจำเดือน

## 2.5 การตั้งครรภ์ (Pregnancy)

### 2.5.1 การปฏิสนธิ (Fertilization)

ความสามารถของเซลล์ไข่ในการปฏิสนธิกับเชื้ออสุจิ อยู่ได้นานประมาณ 15-18 ชม. หลังจากการตกไข่ ถ้าเซลล์ไข่ไม่ได้รับการผสมก็จะสลายตัวไป ส่วนเชื้ออสุจิมีชีวิตอยู่ในระบบสืบพันธุ์เพศหญิงได้นานประมาณ 48 ชม. การปฏิสนธิระหว่างเชื้ออสุจิและเซลล์ไข่เกิดขึ้นในท่อนำไข่ เอสโทรเจนซึ่งหลั่งในช่วงการเจริญเติบโตของถุงไข่อ่อน ช่วยเตรียมระบบสืบพันธุ์เพศหญิงให้เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่ของเชื้ออสุจิไปหาเซลล์ไข่ในท่อนำไข่ ไกลโคเจนที่สะสมในชั้นเยื่อบุของช่องคลอดถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลกติก ภาวะกรดที่เพิ่มขึ้นทำให้เชื้ออสุจิเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น เมือกที่หลั่ง

จากปากมดลูกมีลักษณะเป็นน้ำใสไม่กีดขวางการเคลื่อนที่ของเชื้ออสุจิ เอสโทรเจนมีผลให้มดลูกบีบตัวช่วยพาเชื้ออสุจิไปยังท่อนำไข่ ส่วนเซลล์ไข่จะถูกปัดเข้าไปในท่อนำไข่โดยฟิมเปรีย ภายในท่อนำไข่เชื้ออสุจิมีการเปลี่ยนแปลงทำให้มีความสามารถในการผสมกับเซลล์ไข่ (capacitation) โดยเพิ่มการพัดโบกของหางอย่างรุนแรงและเกิดการเปลี่ยนแปลงที่อะโครโซม (acrosomal reaction) เพื่อให้ผิวหุ้มเชื้ออสุจิรวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ไข่ได้



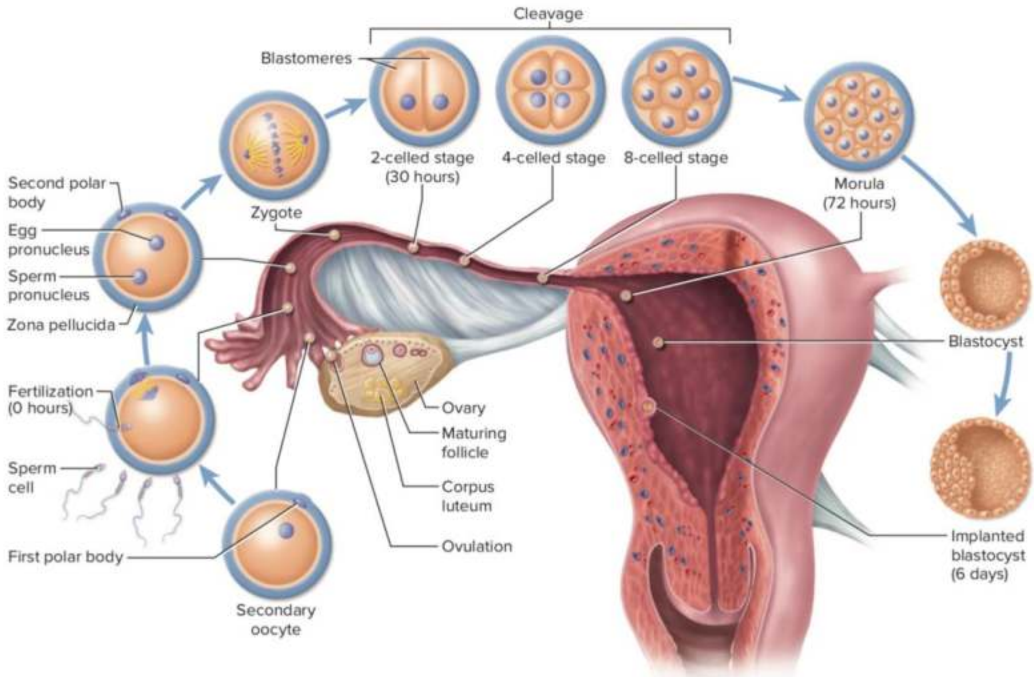

รูปที่ 12-11 แสดงเชื้ออสุจิสัมผัสกับเซลล์ไข่

เมื่อเชื้ออสุจิสัมผัสกับเซลล์ไข่ แคลเซียมจากภายนอกเคลื่อนผ่านช่องแคลเซียมเข้าสู่ภายในหัวของอสุจิ การเพิ่มของแคลเซียมจะกระตุ้นให้เชื้ออสุจิปล่อยเอนไซม์อะโครซิน (acrosin) ที่อยู่ภายใน acrosome ออกมาย่อยเยื่อหุ้มเซลล์ไข่ชั้นนอก และเจาะผ่านชั้นโซนาเพลลูซิดา (zona pellucida) ทันทีที่เยื่อหุ้มไข่และเยื่อหุ้มเชื้ออสุจิรวมตัวกัน เซลล์ไข่จะหลั่งเอนไซม์จากถุงซึ่งอยู่บริเวณขอบเซลล์ (cortical granule) ทำให้โซนาเพลลูซิดามีการเปลี่ยนแปลงช่วยกันมิให้เชื้ออสุจิตัวอื่นเข้าผสมกับไข่อีก ภายในเซลล์ไข่เริ่มการแบ่งตัวแบบไมโอซิสครั้งที่สองต่อ ได้เป็นเซลล์ไข่ที่มีโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง (haploid) และโพลาร์บอดีที่ 2 ซึ่งจะฝ่อสลายไป มีการสร้างโปรนิวเคลียสของเซลล์ไข่และเชื้ออสุจิ (female และ male pronuclei) เมื่อโปรนิวเคลียสทั้งสองชนิดรวมตัวกันให้ตัวอ่อน (zygote) ที่มี 46 โครโมโซม ตัวอ่อนแบ่งตัวให้กลุ่มเซลล์ (morula) ขณะเดินทางมายังมดลูกหลังจากปฏิสนธิได้ 6 วัน ตัวอ่อนจะแบ่งเซลล์ได้ประมาณ 64 เซลล์ จากนั้นพัฒนาเป็นขั้นบลาสโทซิสต์ (blastocyst) ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ชั้นใน (inner cell mass) ซึ่งจะเจริญไปเป็นทารก เซลล์ชั้นนอก เรียกว่า โทรโฟบลาสต์ (trophoblast)

**2.5.2 การฝังตัวของตัวอ่อน (Implantation)**

บลาสโทซิสต์จะลอยอยู่ในของเหลวในโพรงมดลูกอยู่ประมาณ 1 วันก่อนที่จะฝังตัวที่ผนังมดลูกในวันที่ 7 หลังการปฏิสนธิ เมื่อบลาสโทซิสต์ฝังตัวเซลล์โทรโฟบลาสต์จะพัฒนาเป็น 2 ชั้น เซลล์ชั้นในที่หุ้มตัวอ่อนเรียกว่า ไซโทโทรโฟบลาสต์ (cytotrophoblast) ส่วนชั้นนอกเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ซินซิทิโอโทรโฟบลาสต์ (syncytio trophoblast) เซลล์โทรโฟบลาสต์เปลี่ยนแปลงเป็นส่วนหนึ่งของรก โดยยื่นส่วนของเซลล์ซึ่งมีลักษณะคล้ายนิ้ว

(chorionic villi) เข้าไปในเซลล์เยื่อบุมดลูก ภายในวิลไลนี้มีเส้นเลือดของตัวอ่อนมาเลี้ยงมากมาย เซลล์เยื่อบุมดลูกซึ่งอยู่ล้อมให้รอบวิลไลถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากเซลล์ของวิลไลทำให้โทรโฟบลาสต์แช่อยู่ในแอ่งเลือดที่มาจากแม่ เมื่อรกเจริญเติบโตจะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนสารอาหาร ออกซิเจน และของเสียต่าง ๆ ระหว่างระบบไหลเวียนของแม่และลูก




รูปที่ 12-12 แสดงขั้นตอนการ fertilization และ Implantation

**2.5.3 ฮอร์โมนจากรก (Placental hormones)**

ขณะตั้งครรภ์รกจะสร้างฮอร์โมนที่จำเป็นสำหรับการตั้งครรภ์หลายตัวจากชั้นเซลล์ซินซิทิโอโทรไฟ บลาสต์ดังนี้

**1) Human chorionic gonadotropin, HCG)**

เป็นไกลโคโปรตีน ให้ผลคล้ายกับ LH สามารถวัด HCG ในปัสสาวะของมารดาได้ตั้งแต่วันที่ 9 ของการตั้งครรภ์และระดับจะสูงขึ้นระหว่างสัปดาห์ที่ 9-12 หลังจากนั้นจะลดลง การตรวจพบ HCG ในปัสสาวะหรือเลือดใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการตั้งครรภ์ HCG ทำหน้าที่ยืดอายุการทำงานของคอร์ปัสลูเทียม กระตุ้นการสร้างและหลั่งฮอร์โมนรีแลกซิน (relaxin) เพื่อยับยั้งการหดตัวของมดลูก

**2) Human chorionic somatomammotropin (HCS)**

HCS หรือ human placental lactogen (HPL) เป็นเปปไทด์ฮอร์โมน มีโครงสร้างเหมือนโกรทฮอร์โมนและโพรแลกทิน แต่มีผลแบบโพรแลกทินสูงกว่าโกรทฮอร์โมนขณะที่ระดับ HCG ลดต่ำลงหลังจาก 3 เดือนของการตั้งครรภ์ รกจะสร้าง HCS ในสัปดาห์ที่ 4 และจะเพิ่มระดับขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับสูงสุดเมื่อใกล้คลอด การสร้าง HCS จะแปรไปตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของรก ดังนั้นจึงใช้ฮอร์โมนนี้เป็นตัวบ่งชี้สภาวะของรกในระยะต่างๆ ได้ ถ้า HCS มีระดับต่ำในช่วงต้น ๆ ของการตั้งครรภ์อาจทำให้แท้งบุตรได้

HCS กระตุ้นการสลายไขมัน เพื่อให้เลือดของแม่และทารกมีระดับไขมันสูง ยับยั้งการนำกลูโคสเข้าเซลล์มารดา เป็นผลให้ระดับกลูโคสในเลือดคงที่และพอเพียงที่จะไปเลี้ยงทารกและกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของเต้านมมารดาเพื่อเตรียมสำหรับการผลิตน้ำนมหลังการคลอด

**3) โพรเจสเทอโรน**

รกจะเริ่มสร้างโพรเจสเทอโรนในสัปดาห์ที่ 6 ของการตั้งครรภ์ถึงระดับสูงสุดเมื่อใกล้คลอด โพรเจสเทอโรนเป็นฮอร์โมนที่สำคัญสำหรับการตั้งครรภ์โดยเตรียมเยื่อบุมดลูกเพื่อรับตัวอ่อนทำงานร่วมกับฮอร์โมนรีแลกซิน ในการยับยั้งการหดตัวของมดลูก ช่วยการเจริญเติบโตของเต้านม ลดการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของแม่ไม่ให้ต่อต้านการมีทารกซึ่งเปรียบเสมือนเซลล์แปลกปลอมในร่างกายของแม่

**4) เอสโทรเจน**

รกสร้างเอสโทรเจนได้ทั้งเอสทราไดออล เอสโทรนและเอสไทรออล เอสโทรเจนทำหน้าที่ช่วยในการพัฒนาเต้านมและทำให้กล้ามเนื้อมดลูกมีขนาดโตขึ้น ทำให้เอ็นยึดต่างๆในอุ้งเชิงกราน และกระดูกหัวเหน่า อ่อนตัวช่วยให้บริเวณช่องคลอดขยายออกได้กว้างขึ้น ตลอดการตั้งครรภ์เอสไทรออลจะเพิ่มขึ้นมากในปัสสาวะ จึงใช้บ่งบอกถึงสภาวะของทารกในครรภ์ได้

**2.6 การคลอด (Parturition)**

ระยะเวลาตั้งครรภ์ในคนนาน 270 วันหลังจากการปฏิสนธิหรือ 284 วันหลังจากวันแรกของการมีประจำเดือนครั้งสุดท้าย เมื่อครบกำหนดปากมดลูกจะคลายตัวเปิดออก มดลูกจะบีบตัวให้ทารกคลอดออกมาสำหรับกลไกที่กระตุ้นให้เกิดการเจ็บท้องคลอดในคนยังไม่ทราบแน่ชัด แต่มีฮอร์โมนหลายตัวที่เกี่ยวข้องกับการคลอด ดังนี้

**1. เอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรน**

ในระหว่างการตั้งครรภ์อัตราส่วนของโพรเจสเทอโรนและเอสโทรเจนสูง แต่เมื่อจะคลอดพบว่าอัตราส่วนของฮอร์โมนทั้งสองจะต่ำลง การเพิ่มระดับของเอสโทรเจนทำให้มดลูกบีบตัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เอสโทรเจนกระตุ้นการสร้างตัวรับสัญญาณของออกซิโทซิน (oxytocin receptor) ในกล้ามเนื้อหรูดและกระตุ้นการสร้างพรอสทาแกลนดิน

**2) ออกซิโทซิน (oxytocin)**

ขณะที่ทารกโตขึ้นจะทำให้มดลูกถูกยืด มีผลกระตุ้นตัวรับสัญญาณสำหรับการยืด (stretch receptor) ให้ส่งสัญญาณไปยังต่อมใต้สมองส่วนหลังของมารดาให้หลังออกซิโทซินออกมา ขณะคลอดมดลูกหดตัวแรงขึ้นเนื่องจากการตอบสนองของมดลูกต่อออกซิโทซิน เพราะในระหว่างตั้งครรภ์เอสโทรเจนช่วยเพิ่มการสร้างตัวรับสัญญาณของออกซิโทซิน ทุกครั้งที่มดลูกหดตัวศีรษะเด็กจะเคลื่อนตัวลงและช่วยขยายช่องคลอด มีการส่งสัญญาณไปยังต่อมใต้สมองของมารดาให้หลั่งออกซิโทซินมดลูกบีบตัวแรงขึ้นปากมดลูกจะบางลงและเปิดกว้าง เมื่อจะคลอดจะมีการกระตุ้นรีเฟล็กซ์ไขสันหลัง และการหดตัวของกล้ามเนื้อหน้าท้อง ช่วยเพิ่มแรงดันในช่องท้องร่วมกับการบีบตัวอย่างแรงของมดลูกช่วยดันเด็กให้ผ่านช่องคลอดออกมา

**3) พรอสทาแกลนดิน (prostaglandin)**

ในช่วงที่ทารกจะคลอดพบระดับของพรอสทาแกลนดินในน้ำคร่ำเพิ่มขึ้น เอสโทรเจนกระตุ้นการสร้างและหลั่งของพรอสทาแกลนดินในมดลูก เชื่อว่าพรอสทาแกลนดินกระตุ้นให้มดลูกบีบตัวเพิ่มขึ้นและช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของปากมดลูก

**4) ลีแลกซิน (Relaxin)**

ขณะคลอดปากมดลูกจะอ่อนตัวลงเนื่องจากการลดปริมาณของเส้นใยคอลลาเจน การอ่อนตัวลงของปากมดลูกถูกควบคุมโดยรีแลกซินซึ่งหลังจากคอร์ปัสลูเทียม

**2.7 การให้นมบุตร (Lactation)**

การหลั่งน้ำนมจากเต้านม เรียกว่า lactation เมื่อเข้าสู่วัยแรกรุ่นเอสโทรเจนมีผลกระตุ้นการเจริญของเต้านมโดยกระตุ้นการแตกแขนงของท่อน้ำนม (lactiferous duct) และการสะสมของไขมัน ส่วนโพรเจสเทอโรนมีผลต่อการ

เจริญของส่วนถุงน้ำนม (alveoli) แต่เอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนจะออกฤทธิ์ได้ต้องมีฮอร์โมนโพรแลกทิน โกรทฮอร์โมน และคอร์ทิซอลเข้าร่วมด้วย ระหว่างตั้งครรภ์เอสโทรเจน โพรเจสเทอโรน โพรแลกติน และ HCS มีระดับสูงช่วยในการเจริญเติบโตของเต้านมและการสร้างน้ำนม ในช่วงนี้เต้านมยังไม่หลั่งน้ำนมเนื่องจากเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนในระดับสูงยับยั้งการออกฤทธิ์ของโพรแลกตินในการสร้างน้ำนม หลังคลอดระดับเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนลดระดับลงในขณะที่ออกซิโทซินสูงขึ้นทำให้น้ำนมเริ่มไหลภายใน 1-3 วันหลังคลอด น้ำนมที่ไหลออกมาในวันแรก ๆ จะมีลักษณะใส สีเหลือง เรียกว่า คอลอสตรัม (colostrum) ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงและมีภูมิคุ้มกันโรคที่จะถ่ายทอดไปยังบุตรได้

การดูดน้ำนม (suckling) ของทารกในระยะหลังตลอดช่วยกระตุ้นการสร้างโพรแลกตินทำให้น้ำนมถูกสร้างขึ้นตลอดเวลา การดูดน้ำนมจะกระตุ้นตัวรับสัญญาณ (mechanoreceptor) ที่หัวนมให้ส่งสัญญาณไปสู่ต่อมใต้สมองส่วนหลังให้หลั่งออกซิโทซินไปกระตุ้นให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบที่อยู่รอบ ๆ ถุงและท่อน้ำนมหดตัวบีบให้น้ำนมไหลออกมา เรียกการหลั่งน้ำนมนี้ว่า milk ejection reflex นอกจากนี้ออกซิโทซินกระตุ้นให้มดลูกหดตัวมดลูกจึงกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เร็วขึ้น การดูดน้ำนมและโพรแลกตินยับยั้งการทำงานของแกนไฮโปทาลามัส ต่อมใต้สมองและรังไข่ ทำให้ไม่มีการตกไข่ มารดาที่ไม่ได้เลี้ยงดูบุตรด้วยน้ำนมตัวเองจะมีประจำเดือนเร็วภายใน 6 สัปดาห์หลังคลอด แต่ในรายที่ให้นมบุตรอยู่สม่ำเสมอประจำเดือนจะขาดไปนานถึง 25-30 สัปดาห์ ดังนั้นการให้นมบุตรจึงเป็นการคุมกำเนิดแบบชั่วคราวอย่างธรรมชาติ

*************************************

เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาท
(Anatomy and Physiology of Nervous System)

**จำนวนชั่วโมง** 6 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับคำที่ใช้ในการศึกษากายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาท
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. ระบุประเภทของระบบประสาทได้อย่างถูกต้อง
2. บอกชื่อเซลล์หลักของระบบประสาทได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ขององค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ประสาทได้อย่างถูกต้อง
4. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแอกซอนและเดนไดรต์ได้อย่างถูกต้อง
5. บอกชนิดและอธิบายกายวิภาคของเส้นใยประสาทได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายลักษณะโครงสร้างและการทำงานของซิแนปส์ได้อย่างถูกต้อง
7. บอกชื่อและหน้าที่ของเซลล์ค้ำจุนในระบบประสาทได้อย่างถูกต้อง
8. บอกชื่อชั้นต่างของเยื่อหุ้มสมองและไขสันหลังได้อย่างถูกต้อง
9. บอกชื่อช่องว่างภายในสมองได้อย่างถูกต้อง
10. อธิบายส่วนประกอบของระบบประสาทส่วนกลางได้อย่างถูกต้อง
11. บอกตำแหน่งและหน้าที่ของสมองต่างๆ ของสมองใหญ่ได้อย่างถูกต้อง
12. อธิบายหน้าที่ของสมองส่วนกลางได้อย่างถูกต้อง
13. อธิบายหน้าที่ของสมองส่วนหลังได้อย่างถูกต้อง
14. อธิบายกายวิภาคและบอกหน้าที่ของไขสันหลังได้อย่างถูกต้อง
15. บอกชื่อและหน้าที่ของเส้นประสาทสมองได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 13

**************************************

# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาท

# (Anatomy and Physiology of Nervous System)

**ตอนที่ 1 บทนำระบบประสาท (Introduction to Nervous System)**

1.1 ประเภทของระบบประสาท

1.1.1 ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System, CNS)

1.1.2 ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Nervous System, PNS)

1.2 เนื้อเยื่อประสาท (Nervous tissue)

1.2.1 เซลล์ประสาท (Neurons หรือ Nerve cells)

1.2.1.1 ตัวเซลล์ประสาท (Nerve cell body

1.2.1.2 Nucleus

1.2.1.3 Cytoplasm

1.2.1.4 Dendrites

1.2.1.5 Axon

1.2.1.6 การแบ่งชนิดของเซลล์ประสาท

1.2.2 เซลล์ค้ำจุนเซลล์ประสาท (Neuroglia หรือ Glia cells หรือ Supporting cells)

1.3 Nerve fiber (เส้นใยประสาท)

1.4 Synapse

1.5 Ganglion (ปมประสาท)

1.6 Meninges (เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง)

1.7 Ventricle (ช่องว่างภายในสมอง)

1.8 Cerebrospinal fluid (น้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง)

1.9 การเสื่อมสลาย และการงอกใหม่ของเซลล์ประสาท

**ตอนที่ 2 ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System หรือ CNS)**

2.1 สมอง (Brain)

2.1.1 สมองส่วนหน้า (Prosencephalon หรือ forebrain)

2.1.2 สมองส่วนกลาง (Mesencephalon หรือ midbrain)

2.1.3 สมองส่วนหลัง (Rhombencephalon หรือ hindbrain)

2.2 ไขสันหลัง (Spinal cord)

## ตอนที่ 3 ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral nervous system, PNS)

3.1 เส้นประสาทสมอง (Cranial nerve)

3.2 เส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerve)

# บทที่ 13
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาท
# (Anatomy and Physiology of Nervous system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. (สรีรวิทยา)

ความเร้นลับเกี่ยวกับกลไกการควบคุมพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์นั้น เป็นสิ่งที่นักปราชญ์ในสมัยโบราณ ตลอดจนนักวิทยาศาสตร์ในสมัยปัจจุบันให้ความสนใจตลอดมา ในยุคก่อนที่จะมีการศึกษาแบบวิทยาศาสตร์นั้น ได้รับอิทธิพลมาจากศาสนาและมีความเชื่อว่าร่างกายนั้นถูกควบคุมด้วยดวงวิญญาณ ตลอดจนพลังงานเหนือธรรมชาติอื่นๆ ดังจะเห็นได้จากหลักฐานจากวัฒนธรรมอียิปต์ ซึ่งมีความเชื่อว่า จิตใจและความนึกคิดของมนุษย์นั้นแยกออกจากร่างกาย และเมื่อเจ้าของร่างเสียชีวิต ดวงวิญญาณที่เรียกว่า “Ba” จะบินออกจากร่างและจะกลับเข้าสู่ร่างเดิมเพื่อเริ่มชีวิตใหม่ หรือจากแนวความคิดของศาสนาฮินดูซึ่งเชื่อว่าการกระทำของมนุษย์เป็นผลมาจากการควบคุมของ “อาตมัน” ซึ่งจะเดินทางไปสู่ภพใหม่เมื่อเจ้าของร่างเดิมเสียชีวิต ความเชื่อเกี่ยวกับการเดินทางออกจากร่างของวิญญาณไปสู่ร่างใหม่พบได้ทั้งในอารยธรรมตะวันออกและตะวันตก เพียงแต่จะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันออกไป



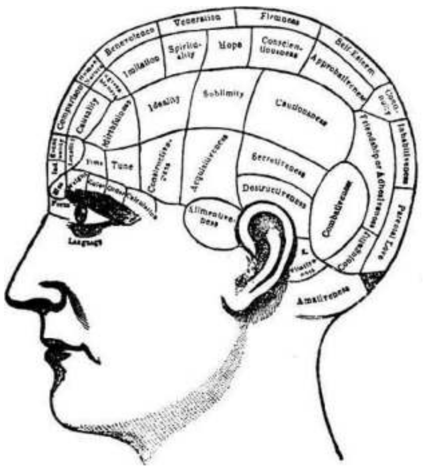
รูปที่ 13-1 แสดงความเชื่อของชาวอียิปต์โบราณ เกี่ยวกับวิญญาณหลังความตาย ในภาพแสดงการเคลื่อนที่ของ Ba ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมพฤติกรรมมนุษย์ Ba จะบินออกจากร่างเจ้าของเมื่อผู้นั้นถึงแก่กรรม (รูปภาพจาก https://brewminate.com/the-ancient-egyptian-concept-of-the-soul/)

จากแนวความคิดที่ว่าดวงวิญญาณ เป็นตัวผลักดันและใช้ชีวิตแก่ร่างกาย ทำให้เกิดความเชื่อต่อมาว่าพลังแห่งชีวิตที่กล่าวถึงนี้ คือ โลหิตที่ไหลเวียนอยู่ในร่างกาย และเมื่อโลหิตไหลออกจากร่าง พลังแห่งชีวิตก็จะไหลออกจากร่างนี้ด้วย เนื่องจากหัวใจเป็นศูนย์กลางในการไหลเวียนโลหิต นักปราชญ์ในสมัยก่อน เช่น อริสโตเติล เชื่อว่าหัวใจเป็นต้นกำเนิดแห่งพลังชีวิต แนวความคิดนี้ต่างกับของพลาโต ที่กล่าวว่าจักรวาลที่มีรูปทรงกลมทำหน้าที่ควบคุมปรากฏการณ์ธรรมชาติต่าง ๆ ศีรษะซึ่งเป็นอวัยวะที่มีรูปทรงกลม เช่นเดียวกับรูปทรงของจักรวาล ย่อมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของร่างกายส่วนอื่น ๆ ในระยะหลังได้มีการประสานแนวความคิดทั้งสองนี้เข้าด้วยกัน โดยสรุปว่าสารน้ำแห่งชีวิต (animal spirit) ถูกสร้างขึ้น โดยเริ่มจากสารอาหารที่ถูกดูดซึมในลำไส้จะส่งผ่านมายังตับและสร้างเป็น natural spirit เมื่อสารที่สร้างขึ้นนี้ไหลเวียนผ่านหัวใจ จะเปลี่ยนเป็น vital spirit ซึ่งเมื่อไหลขึ้นสู่ฐานของสมองจะรวมเข้ากับอากาศใน

โพรงจมูกทำให้เกิด animal spirit และเก็บไว้ในโพรงสมอง ดังนั้นสารน้ำแห่งชีวิตนี้จึงมีส่วนประกอบจากสารอาหาร โลหิต และอากาศ ซึ่งล้วนแต่เป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตทั้งสิ้น Galen นักกายวิภาคชาวกรีกเชื่อว่าโพรงสมองนี้เป็นส่วนที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมพฤติกรรมของมนุษย์

ในระยะแรกของการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการควบคุมพฤติกรรมมักอาศัยการตั้งข้อสังเกตและการเปรียบเทียบเป็นสำคัญ เช่น การศึกษาเปรียบเทียบขนาดและรูปร่างของสมองในสิ่งมีชีวิตสายพันธุ์ต่างๆ และเปรียบเทียบกับลักษณะของพฤติกรรมในสัตว์นั้นๆ จนกระทั่งวิทยาศาสตร์มีความก้าวหน้ามากขึ้นการศึกษาจึงเปลี่ยนมาเป็นการศึกษาที่อาศัยการทดลองเป็นหลัก เช่น การทำลาย หรือกระตุ้น ส่วนต่างๆ ของร่างกายและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรม จากผลการศึกษาทำให้เกิดแนวความคิดใหม่ที่ว่า ร่างกายและจิตใจเป็นหนึ่งเดียวกัน และพฤติกรรมต่างๆ ถูกควบคุมด้วยอวัยวะในร่างกายมิใช่เป็นผลจากพลังเหนือธรรมชาติ อวัยวะที่ทำหน้าที่สำคัญ คือ สมองและระบบประสาท

การศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ของสมองและพฤติกรรมได้เริ่มต้นในศตวรรษที่ 19 โดยแพทย์และนักกาย วิภาคศาสตร์ชาวออสเตรีย Franz Joseph Gall ซึ่งมีความเชื่อว่าความนึกคิดและจิตใจนั้นมีกลไกพื้นฐานทางชีวภาพและถูกควบคุมโดยการทำงานของสมอง เขาให้ความเห็นว่าทุกส่วนสมองมิได้ทำงานเหมือนกันทั้งหมด หากแต่สมองประกอบด้วยส่วนย่อยๆ 35 ส่วน ที่ทำหน้าที่ควบคุมพฤติกรรมที่แตกต่างกัน Gall เชื่อว่าแม้แต่พฤติกรรมที่มีความซับซ้อนมาก เช่น ความคิดทางนามธรรมต่าง ๆ (ความรัก ความคิดสร้างสรรค์ ฯลฯ) ล้วนถูกควบคุมโดยตำแหน่งของสมองที่มีความจำเพาะต่อพฤติกรรมนั้น ๆ และเมื่อสมองส่วนใดทำงานมาก สมองส่วนนั้นจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และทำให้เกิดรอยนูนบนกะโหลกศีรษะ Gall ได้ประดิษฐ์เครื่องมือที่สามารถวัดรอยนูนเหล่านี้ได้อย่างละเอียดในประชากรจากกลุ่มต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของบุคคลนั้น ๆ ด้วยวิธีการนี้ Gall สามารถสร้างแผนที่ของการทำงานของสมองได้ เรียกวิชาที่ว่าด้วยความสัมพันธ์ของลักษณะกะโหลกศีรษะ และพฤติกรรมนี้ว่า Phrenology ถึงแม้ว่าในปัจจุบันความคิดบางประการของ Gall จะได้รับการพิสูจน์ว่าไม่ถูกต้อง แต่เขาก็ได้รับการยกย่องว่าเป็นบุคคลแรกที่วางแนวความคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ของสมอง และหน้าที่ในการควบคุมพฤติกรรม เรียกแนวคิดของ Gall นี้ว่า Localizationist view




รูปที่ 13-2 แสดงส่วนของสมองที่ทำหน้าที่ควบคุมพฤติกรรมของมนุษย์ ตามแนวคิดของ Gall (รูปภาพจาก https://historyofneuroscience.umwblogs.org/history-of-neuroscience/the-beginnings-of-brain-localization-franz-joseph-gall-and-phrenology/)

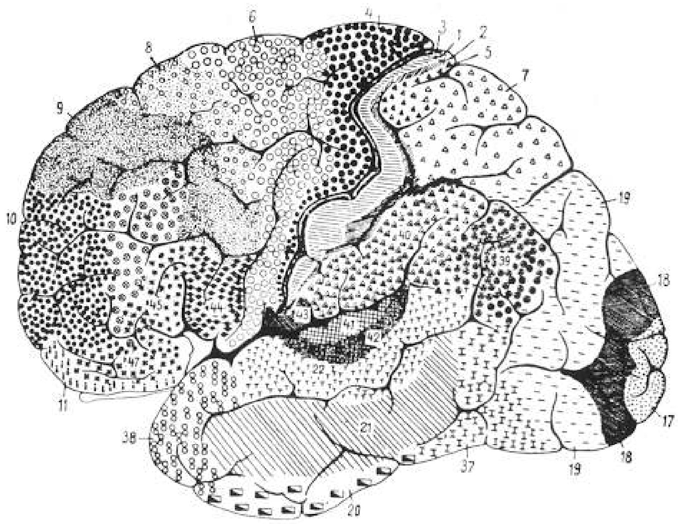
Jean Pierre Flourens นักชีววิทยาชาวฝรั่งเศส ได้พยายามพิสูจน์ทฤษฎีของ Gall โดยการทำลายสมองบางส่วนในสัตว์ทดลองและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม Flourens ไม่พบว่ามีส่วนใดของสมองที่ควบคุมความนึกคิดอย่างเฉพาะเจาะจง จากผลการศึกษานี้ทำให้เขาสรุปว่าการทำงานของสมองเกี่ยวกับความคิดนั้น ไม่มีความจำเพาะต่อบริเวณใดของสมอง หากเป็นผลของการทำงานร่วมกันทั้งหมด และให้สมมติฐานว่าทุกส่วนของสมองทำงานเหมือนกันและเมื่อมีภยันตรายเกิดขึ้นต่อส่วนใดส่วนหนึ่งจะมีผลต่อการทำงานของสมองทั้งหมด เราเรียกแนวความคิดนี้ว่า “Aggregate field view” ซึ่งตรงข้ามกับ “Localizationist view ของ Gal

ความขัดแย้งในแนวความคิดทั้งสองนี้ได้รับการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ทั้งในการศึกษาอาการทาง คลินิกและการศึกษาทางห้องปฏิบัติการ ในปี 1961 ประสาทแพทย์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Paul Broca ได้รายงานผู้ป่วยที่มีความผิดปกติในการใช้ภาษา กล่าวคือสามารถเข้าใจความหมายของภาษาได้ทั้งภาษาพูดและภาษาเขียน แต่ไม่สามารถโต้ตอบได้อย่างถูกไวยากรณ์ เขาได้ทำการตรวจสมองของผู้ป่วยรายนี้หลังจากเสียชีวิต และพบว่าบริเวณของส่วนหน้าของสมองส่วนที่เรียกว่า frontal lobe ของสมองซีกซ้ายมีการทำลาย เขาพบปรากฏการณ์เช่นเดียวกันนี้ในผู้ป่วยอีก 8 ราย และได้สรุปว่า “We speak with the left hemisphere” การค้นพบของ Broca นี้นับเป็นก้าวสำคัญในการศึกษาประสาทวิทยาศาสตร์ และส่วนของสมองบริเวณนั้นได้รับการตั้งชื่อว่า Broca’s area เพื่อเป็นเกียรติแก่เขา จากนั้น 9 ปีต่อมา Gustav Fritach และ Eduard Hitzig ได้ทำการทดลองโดยใช้ไฟฟ้ากระตุ้นส่วนของสมองและพบว่าสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่มีลักษณะจำเพาะในร่างกายด้านตรงข้าม นอกจากนี้เขายังพบว่าบริเวณหนึ่งๆ ของสมองจะควบคุมส่วนของร่างกายที่มีความจำเพาะกันเท่านั้น การศึกษานี้ทำให้เราสรุปได้ว่าสมองแต่ละซีกจะควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายด้านตรงข้าม

ในปี 1876 Carl Wernicke ได้รายงานผู้ป่วยที่มีความผิดปกติ ในการใช้ภาษาซึ่งมีลักษณะตรงข้ามกับผู้ป่วยของ Broca กล่าวคือ สามารถพูดได้คล่อง แต่ไม่สามารถเข้าใจในความหมายของภาษาที่ได้ยินหรืออ่านได้ Wernicke พบว่าผู้ป่วยเหล่านี้มีพยาธิสภาพอยู่ในส่วนหลังของสมองส่วนที่เรียกว่า temporal lobe ด้านซ้าย ด้วยการค้นพบนี้เขาได้พยายามประสานแนวความคิดแบบ localizationist and aggregated field view โดยสรุปว่าพฤติกรรมพื้นฐาน เช่น การคลื่อนไหวง่ายๆ หรือการรับความรู้สึก จะถูกควบคุมโดยตำแหน่งจำเพาะในสมอง และอาศัยการเชื่อมต่อของส่วนของสมองต่าง ๆ ทำให้เกิดพฤติกรรมที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

จากแนวความคิดของ Wernicke นี้เองทำให้มีผู้พยายามค้นหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งของผิวสมองและหน้าที่ที่เกี่ยวข้องตลอดจนวงจรการเชื่อมต่อ ในต้นศตวรรษที่ 20 กลุ่มนักกายวิภาคชาวเยอรมันได้แก่ Vladimir Betz, Theodor Maynert, Osker Vogt และ Korbinian Brodmann ได้ศึกษาวิธีการเรียงตัวของเซลล์ประสาทในชั้นผิวของสมองใหญ่ และด้วยวิธีนี้ Brodmann ได้แบ่งผิวสมองใหญ่ออกเป็นส่วนย่อยทั้งสิ้น 52 พื้นที่ (ส่วนย่อยแต่ละส่วนนี้เรียกกันในระยะต่อมาว่า Brodmann’s area) แผนที่ของส่วนย่อยเหล่านี้มีความแตกต่างอย่างชัดเจนกับแผนที่สมองที่ทำไว้โดย Gall

ในช่วงครึ่งแรกของศตวรรษที่ ความคิดแบบ Aggregate field view เป็นที่เชื่อถือ นักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงในยุคนั้น เช่น ประสาทแพทย์ชาวอังกฤษ Henry Head, นักจิตวิทยาชาวเยอรมัน Kurt Goldstein, นักพฤติกรรมศาสตร์ชาวรัสเซีย Ivan Pavlov หรือ นักจิตวิทยาชาวอเมริกัน Kral Lashley ต่างก็ให้ความเห็นสนับสนุนความเชื่อแบบ Aggregate field view นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Lashley ได้พยายามหาตำแหน่งของสมองที่ทำหน้าที่ควบคุมการเรียนรู้ เขาไม่พบว่ามีส่วนใดของสมองทำหน้าที่เฉพาะต่อการเรียนรู้ แต่พบว่าความผิดปกติของการเรียนรู้มีความสัมพันธ์กับปริมาณของเนื้อสมองที่ถูกทำลาย จากการค้นพบนี้ Lashley ได้สรุปว่าปริมาณของสมอง มีความสำคัญต่อการทำงานมากกว่าความจำเพาะของตำแหน่งหรือการเรียงตัวของเซลล์ประสาท Lashley เรียกแนวคิดนี้ว่า Mass action




รูปที่ 13-3 แสดงสมองใหญ่ ที่แบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ โดยอาศัยความแตกต่างในการเรียงตัวของเซลล์ประสาท (รูปจาก http://neurosci.info/courses/systems/Cortex/brodman.html)

ด้วยความก้าวหน้าทางการแพทย์ ประสาทศัลยแพทย์ชาวแคนาดา Wilder Penfield สามารถทำการกระตุ้นผิวสมองของผู้ป่วยด้วยไฟฟ้าที่อยู่ในระหว่างการผ่าตัดสมอง แต่ผู้ป่วยไม่หมดสติ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานบริเวณของสมองที่ควบคุมการพูด ด้วยวิธีนี้ Penfield จึงเป็นคนแรกที่สามารถบอกตำแหน่งของ Broca’s และ Wernicke’s area ได้ในผู้ป่วยที่ยังมีชีวิต นอกจากนี้ยังเป็นการยืนยันว่าความถูกต้องของแนวคิดของ Wernicke เกี่ยวกับการเชื่อมต่อของส่วนของสมองต่าง ๆ ทำให้เกิดพฤติกรรม ซึ่งเป็นหลักการที่สำคัญและเป็นที่เชื่อถือมาจนถึงทุกวันนี้

ในปลายศตวรรษที่ 18 นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี Luigi Galvani ได้ค้นพบว่ากล้ามเนื้อสามารถสร้างประจุไฟฟ้าได้ และยังพบว่าเมื่อนำแท่งโลหะไปแตะกับเส้นประสาทที่ไปยังกล้ามเนื้อในขณะที่มีการสปาร์คไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์จะทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเมื่อนั้น การค้นพบของ Galvani ทำให้สรุปได้ว่าเส้นประสาทควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ต่อมาปลายศตวรรษที่ 19 จิตแพทย์ชาวเยอรมัน Hans Berger ได้ตั้งสมมติฐานว่าการสื่อสารกันภายในระบบประสาทส่วนกลางนั้นน่าจะเป็นประจุไฟฟ้าเช่นเดียวกัน Berger พยายามที่จะวัดคลื่นไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสมองตามสมมติฐานนั้นแต่ไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในระยะแรกมีความละเอียดไม่เพียงพอ จนกระทั่งถึงปี 1924 เขาก็สามารถวัดคลื่นไฟฟ้าจากสมองได้เป็นครั้งแรก ซึ่งคลื่นที่เกิดขึ้นนี้มีความต่างศักย์เพียงไมโครโวลท์ เราเรียกคลื่นไฟฟ้านี้ว่า Electroencephalogram (EEC) ซึ่งยังคงใช้ประโยชน์ในการตรวจผู้ป่วยโรคระบบประสาทบางชนิด เช่น โรคลมชัก มาจนถึงปัจจุบัน

************************************

**ตอนที่ 1**

## บทนำระบบประสาท (Introduction to Nervous System)

ระบบประสาท (Nervous system) ของมนุษย์มีการพัฒนาสูงสุด ทำให้ร่างกายมนุษย์สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งภายในร่างกายเอง เช่น ความรู้สึกหิว อิ่ม การนอนหลับ การตื่น เป็นต้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม เช่น อากาศร้อน-เย็น การเผชิญกับภาวะวิกฤตต่างๆ ระบบประสาทจะทำหน้าที่ควบคุมและประสานการทำงานของอวัยวะในระบบอื่น ๆ ของร่างกาย เช่น ระบบหายใจ ระบบไหลเวียนโลหิต ระบบการย่อยอาหารให้อยู่ในภาวะสมดุล

โครงสร้างของระบบประสาทมนุษย์ มีการศึกษามานาน เริ่มต้นจากการศึกษาในมนุษย์ที่เสียชีวิตแล้ว วิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบประสาท เรียกว่า **Neuroanatomy** วิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบประสาท เรียกว่า **Neurophysiology** ในทางเภสัชวิทยาศึกษาเกี่ยวกับยาที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท เรียกว่า **Neuropharmacology** ในทางการแพทย์มีวิชา **Neurology** เกี่ยวข้องกับโรคของระบบประสาท และ **Neurosurgery** เกี่ยวกับการผ่าตัดในระบบประสาท ซึ่งศาสตร์เหล่านี้มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน อาจเรียกรวม ๆ ว่า **Neuroscience**

### 1.1 ประเภทของระบบประสาท

ระบบประสาท แบ่งตามกายวิภาคศาสตร์ ได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

**1.1.1 ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System, CNS)** ประกอบด้วย สมอง (brain) และไขสันหลัง (spinal cord) ทำหน้าที่รับข้อมูลต่างๆ การผสมผสานสัญญาณต่างๆ ที่เข้าและออกจากระบบประสาทรวม ทั้งการทำหน้าที่เกี่ยวกับความนึกคิด การเรียนรู้ และสติปัญญา

**1.1.2 ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Nervous System, PNS)** ประกอบด้วย

**1) เส้นประสาทสมอง (Cranial nerve)** มี 12 คู่ เป็นเส้นประสาทที่ออกมาจากสมองเป็นคู่ ๆ เพื่อรับสัญญาณ ความรู้สึก และออกคำสั่งควบคุมหน่วยปฏิบัติงานให้ตอบสนองต่อสิ่งเร้า

**2) เส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerve)** มี 31 คู่ เป็นเส้นประสาทที่แยกออกจากไขสันหลังเพื่อทำหน้าที่รับความรู้สึกและสั่งการไปยังหน่วยปฏิบัติงาน (effectors) เช่น กล้ามเนื้อ หรือต่อมต่างๆ

ระบบประสาทส่วนปลาย แบ่งเป็น 2 ระบบคือ

**1. ระบบประสาทรับความรู้สึก (sensory system)** เป็นระบบที่นำกระแสประสาทเข้าสู่ส่วนกลางประกอบด้วยเซลล์ประสาท (neuron หรือ nerve cell) ซึ่งจะนำกระแสประสาทจากตัวรับ (receptors) เข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง เรียกเซลล์ประสาทนี้ว่า เซลล์ประสาทนำเข้า (afferent neuron หรือ sensory neuron)

**2. ระบบประสาทสั่งการ (motor system)** เป็นระบบที่นำกระแสประสาทจากระบบประสาทส่วนกลาง ไปยังหน่วยปฏิบัติงาน (effectors) ระบบประสาทสั่งการ แบ่งเป็น 2 ระบบ ดังนี้

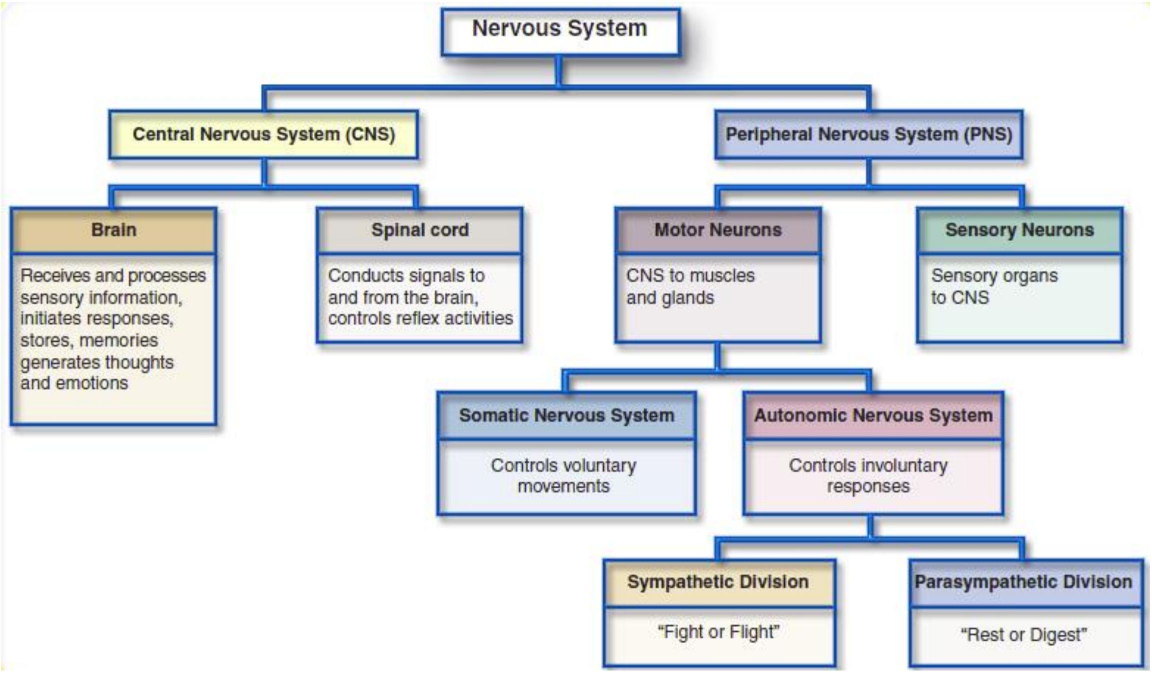
**2.1 ระบบประสาทโซมาติก (Somatic Nervous System, SNS)** มีหน้าที่ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย ระบบประสาทโซมาติกประกอบด้วยเซลล์ประสาทนำออก (efferent neuron) เป็นระบบที่อยู่ใต้อำนาจจิตใจ เซลล์ประสาทรับความรู้สึกจะรับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกผ่านเส้นประสาทสมองหรือเส้นประสาทไขสันหลัง เข้าสู่สมองหรือไขสันหลัง เพื่อแปลผลและสั่งการ จากนั้นกระแสประสาทจะถูกส่งผ่านเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองไปยังหน่วยปฏิบัติงานซึ่งเป็นกล้ามเนื้อลาย

**2.2 ระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic Nervous System, ANS)** ทำหน้าที่ควบคุมกล้าม เนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ และต่อมต่างๆ ระบบประสาทอัตโนมัติแบ่งเป็น

1) ระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic nervous system)

2) ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (parasympathetic nervous system)

โดยปกติแล้วระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติก จะควบคุมการทำงานของแต่ละอวัยวะในทิศทางที่ตรงข้าม (antagonistic effect) เช่น ระบบซิมพาเทติกจะกระตุ้นให้หัวใจเต้นเร็วและแรงขึ้น แต่ระบบพาราซิมพาเทติก จะทำให้หัวใจเต้นช้าลง เพื่อรักษาสมดุลของร่างกาย



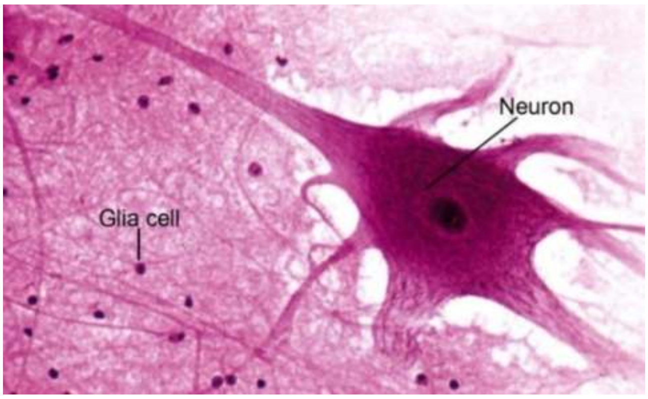

รูปที่ 13-4 แผนผังการจำแนกโครงสร้างของระบบประสาท

## 1.2 เนื้อเยื่อประสาท (Nervous tissue)

ระบบประสาทประกอบด้วยเนื้อเยื่อประสาท ซึ่งประกอบด้วยเซลล์หลัก 2 ชนิด ได้แก่

**1.2.1 เซลล์ประสาท (Neurons หรือ Nerve cells)** เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่หลักในระบบประสาท

**1.2.2 เซลล์ค้ำจุนเซลล์ประสาท (Neuroglia หรือ Glia cells หรือ Supporting cells)** เซลล์ค้ำจุนประกอบด้วย Glia cells ในประสาทส่วนกลาง, Schwann cells ในประสาทส่วนปลาย และ Satellite cells ในปมประสาทสมองและไขสันหลัง




รูปที่ 13-5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ แสดงเซลล์ประสาท (Neuron) และเซลล์ค้ำจุนเซลล์ประสาท (Glia cell)

### 1.2.1 เซลล์ประสาท (Nerve cells, Neuron)

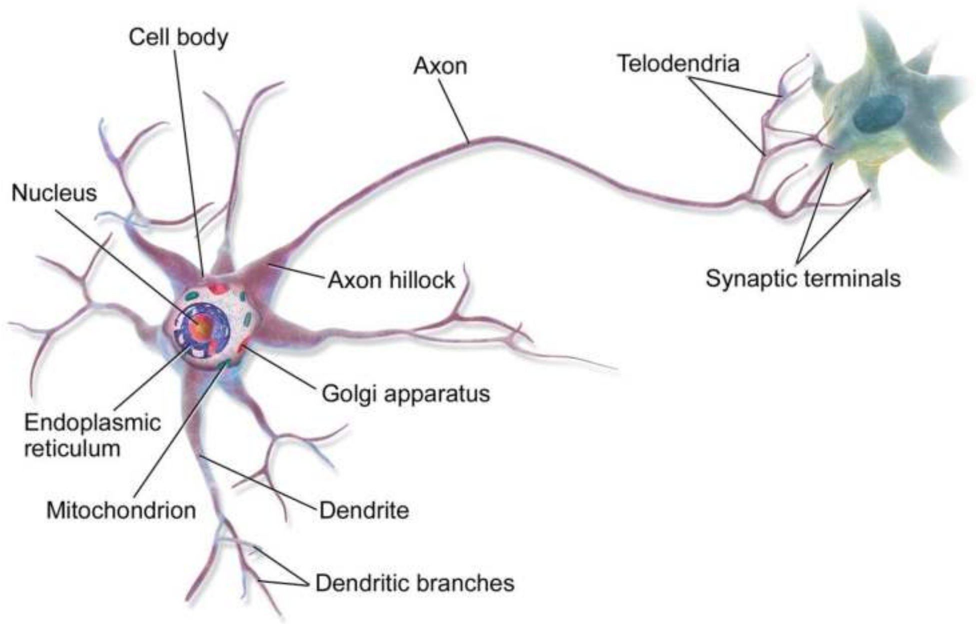
เซลล์ประสาท ประกอบด้วยตัวเซลล์ประสาท (nerve cell body, soma, perikaryon) กับส่วนที่ยื่นออกไปจากเซลล์ (process) ส่วนที่อยู่รอบนิวเคลียส เรียกว่า perikaryon ส่วนที่ยื่นออกไปจาก perikaryon แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามหน้าที่ ดังนี้

**1) Receptive portion** เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซลล์อื่น ประกอบด้วย dendrite, บางส่วนของตังเซลล์ประสาท (cell body) และแอกซอน (axon)

**2) Initial segment** เป็นส่วนที่เริ่มคลื่นประสาท ได้แก่ ส่วนแอกซอน ฮิลลอก (axon hillock) ตรงจุดนี้มี threshold ต่อการกระตุ้นต่ำสุด หรือมีความไวต่อการกระตุ้นสูงสุด เนื่องจากมีช่องทางโซเดียมหนาแน่นมาก จึงเป็นส่วนที่เริ่มเกิดคลื่นไฟฟ้า (action potential) แล้วเคลื่อนที่ไปสู่แอกซอน

**3) Conducting portion** เป็นส่วนนำสัญญาณประสาทออกไปจากตัวเซลล์ประสาท ได้แก่แอกซอน และใยประสาท ที่แอกซอนนี้ อาจพบมีปลอกหุ้มและไม่มีปลอกหุ้ม ปลอกที่หุ้มเรียกว่า myelin sheath ประกอบด้วย myelin ซึ่งเป็นชั้นของไขมันและโปรตีนพันรอบๆ แอกซอนที่มีปลอกหุ้มจะสามารถนำสัญญาณได้เร็วกว่าชนิดที่ไม่มีปลอกหุ้ม แอกซอนจะยายหรือสั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ประสาท และอาจแตกแขนงไปเชื่อมต่อกับหลาย ๆ เซลล์ได้ แอกซอนยิ่งโตจะยิ่งมี threshold ต่อการกระตุ้นต่ำและนำคลื่นประสาทได้เร็ว

**4) Effector portion หรือ Transmitting portion** เป็นส่วนที่ส่งสัญญาณไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ หรือเซลล์กล้ามเนื้อหรือต่อมต่างๆ บริเวณนี้ ได้แก่ ส่วนปลายของแอกซอน (nerve terminal) เรียกจุดนี้ว่า ซินแนปส์ (synapse) ซึ่งมีการปล่อยสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ออกมา สารสื่อประสาทเหล่านี้อาจทำหน้าที่กระตุ้นหรือยับยั้งการทำงานของเซลล์ถัดไป

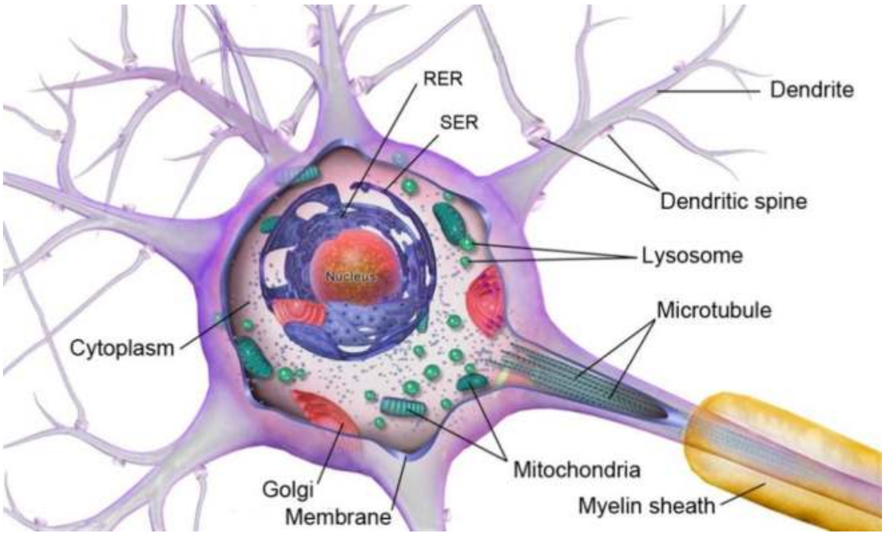



รูปที่ 13-6 แสดงโครงสร้างของเซลล์ประสาท (Nerve cell, Neuron)

#### 1.2.1.1 ตัวเซลล์ประสาท (Nerve cell body)

ภายในตัวเซลล์ประสาทประกอบด้วยออร์กาเนลเหมือนเซลล์ทั่วไป ตัวเซลล์ประสาทเกือบทั้งหมดจะไม่มีเซ็นโตรโซม (centrosome) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซลล์ประสาทจะไม่มีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนและการเจริญพันธุ์ ดังนั้น

เมื่อเซลล์ประสาทตายก็จะไม่มีเซลล์ใหม่มาแทนที่ ในระบบประสาทส่วนกลาง ตัวเซลล์ประสาทจะอยู่กันเป็นกลุ่ม เรียกว่า **nucleus** แต่ละ nucleus จะมีบทบาทและหน้าที่แตกต่างกันไป




รูปที่ 13-7 แสดงโครงสร้างภายในของตัวเซลล์ประสาท

### 1.2.1.2 Nucleus

รูปร่างกลม โดยปกติจะอยู่กลางเซลล์ ยกเว้นเซลล์ประสาทที่อยู่ในไขสันหลังและเซลล์ในปมประสาทอัตโนมัติ ภายในนิวเคลียสมี nucleolus ขนาดใหญ่และชัดเจน

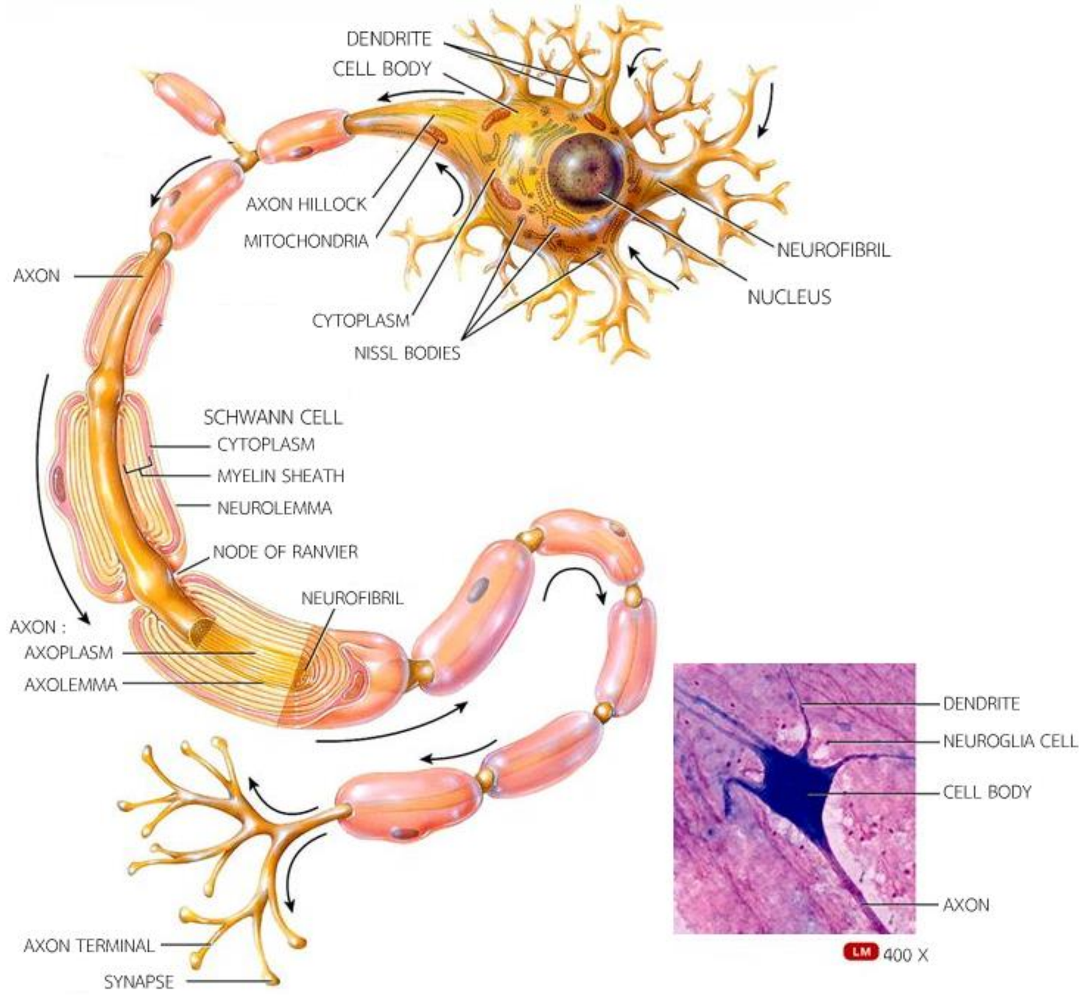
### 1.2.1.3 Cytoplasm

Cytoplasm ของตัวเซลล์ประสาท ประกอบด้วย ribosome, endoplasmic reticulum, Golgi apparatus, mitochondria microtubule, lysosome นักพยาธิวิทยาชาวเยอรมัน ชื่อ Nissl พบว่า เมื่อย้อมเซลล์ประสาทด้วยสาร basic aniline dyes จะพบแกรนูลเล็กๆ รวมกันเป็นกลุ่มๆ ต่อมาเรียกว่า Nissl body ซึ่งถือเป็นลักษณะพิเศษของเซลล์ประสาท จากการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอน แสดงให้เห็นว่า Nissl body ประกอบด้วยกลุ่มของ endoplasmic reticulum รวมกับ ribosome

การที่เซลล์ประสาทมี nucleolus ขนาดใหญ่ และมี endoplasmic reticulum มาก เป็นการแสดงว่าเซลล์มีการสังเคราะห์โปรตีนอย่างมากเพื่อใช้ในการส่งสัญญาณประสาท การสังเคราะห์นี้มิได้มีเพื่อการเจริญเติบโตของเซลล์หรือเพื่อการแบ่งตัวของเซลล์แต่อย่างใด

### 1.2.1.4 Dendrites

เดนไดรต์ เป็นส่วนที่ยื่นออกจากตัวเซลล์ประสาท ภายในเดนไดรต์ จะมีองค์ประกอบคล้ายกับในตัวเซลล์ประสาท ยกเว้น นิสเซส บอดี้ Nissl body ที่จะมีเฉพาะส่วนต้นเท่านั้น เดนไดรต์มีหน้าที่นำกระแสประสาทเข้าสู่เซลล์ประสาท




รูปที่ 13-8 แสดงโครงสร้างของ neuron, dendryte และ axon

### 1.2.1.5 Axon (แอกซอน)

แอกซอน เป็นใยประสาทที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์ ไปยังเซลล์ประสาทตัวอื่น ๆ หรือไปยังอวัยวะแสดงผล เช่น กล้ามเนื้อและต่อมต่างๆ เซลล์ประสาทตัวหนึ่งๆ จะมีแอกซอนเพียงหนึ่งแอกซอนเท่านั้น โดยเป็นส่วนยื่นของเซลล์ที่ยาวทำหน้าที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์ ภายในแอกซอนไม่มีนิสเซส บอดี้ และจุดที่แอกซอนออกจากตัวเซลล์ประสาทมีลักษณะนูนขึ้นเรียกว่า **แอกซอน ฮิลล็อค (axon hillock)** ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดกระแสประสาท และต่อเนื่องตลอดความยาวของแอกซอน

ส่วน plasma membrane ของแอกซอน เรียกว่า axolemma องค์ประกอบภายในของแอกซอน เรียกว่า exoplasm ส่วนปลายสุดแอกซอน เรียกว่า axon terminal ซึ่งจะมีลักษณะป่องออกมา เรียกว่า **terminal bouton** ไปซิแนปส์ (synapse) กับเซลล์ประสาทตัวอื่น

เปลือกหุ้มแอกซอนจะมี 3 ชั้น ดังนี้

**1. ชั้นในสุด** เรียกว่า **ปลอกหรือเยื่อไมอีลิน (myelin sheath)** จะทำหน้าที่ป้องกันอันตรายและเป็นฉนวนกั้นการถ่ายเทประจุไฟฟ้า ระหว่างข้างนอกกับข้างในแอกซอน นอกจากนี้ยังช่วยให้กระแสประสาทเดินทางได้เร็วขึ้น เนื่องจากมี**โนดออฟแรนเวียร์ (node of Ranvier)** ซึ่งเป็นส่วนของแอกซอนตรงบริเวณรอยต่อระหว่างเซลล์ชวันน์แต่ละเซลล์ที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้มอยู่เป็นระยะๆ โดยช่วงความยาวระหว่างโนดออฟแรนเวียร์ เรียกว่า อินเตอร์โนด

(internode) ซึ่งจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับความยาวของแอกซอน กระแสประสาทจะเดินทางได้เร็ว เมื่อเส้นใยประสาทนั้นมีเปลือกหุ้ม

**2. ชั้นกลาง** เรียกว่า **เยื่อนิวริเล็มม่า (neurilemma sheath)** ชั้นนี้มีเซลล์ที่เรียกว่า เซลล์ชวันน์ (Schwann cells) อยู่ โดยจะมีหนึ่งเซลล์ต่อหนึ่งอินเตอร์โนด ตลอดความยาวของแอกซอน และมีไซโทพลาซึมของเซลล์ชวันน์ เป็นนิวริเล็มม่า

**3. ชั้นนอกสุด** เรียกว่า **เอ็นโดนิวเรียม (endoneurium)** เป็นเนื้อเยื่อยึดต่อที่หุ้มแอกซอนไว้ทั้งอัน

แอกซอนที่มีปลอกหรือเยื่อไมอีลินหุ้ม เรียกว่า **ใยประสาทไมอีลินเนท (myelinated nerve fiber)** มักจะเป็นเส้นประสาทที่หนาและมีขนาดใหญ่ ส่วนแอกซอนที่ไม่มีปลอกหรือเยื่อไมอีลินหุ้มเรียกว่า **ใยประสาทอันไมอีลินเนท (unmyelinated nerve fiber)** มักมีขนาดเล็ก โดยปลอกหรือเยื่อไมอีลินในระบบประสาทรอบนอก จะสร้างโดยเซลล์ชวันน์ (Schwann cells) ส่วนเยื่อไมอีลินในระบบประสาทส่วนกลางจะสร้างโดยเซลล์ โอริโกเดนโดรเกลีย (oligodendroglia)

เดนไดรต์ ต่างจากแอกซอน คือ ส่วนมากมักไม่มีปลอกหุ้มและที่ปลายมีส่วนที่ยื่นออกไปเป็นหนามเล็กๆ เรียกว่า **spine** ซึ่งเป็นที่สำหรับเชื่อมต่อกับกิ่งแอกซอนหรือเดนไดรต์อื่นๆ

### 1.2.1.6 การแบ่งชนิดของเซลล์ประสาท

**1. แบ่งตามความยาวของ Axon** ได้ 2 ชนิด คือ

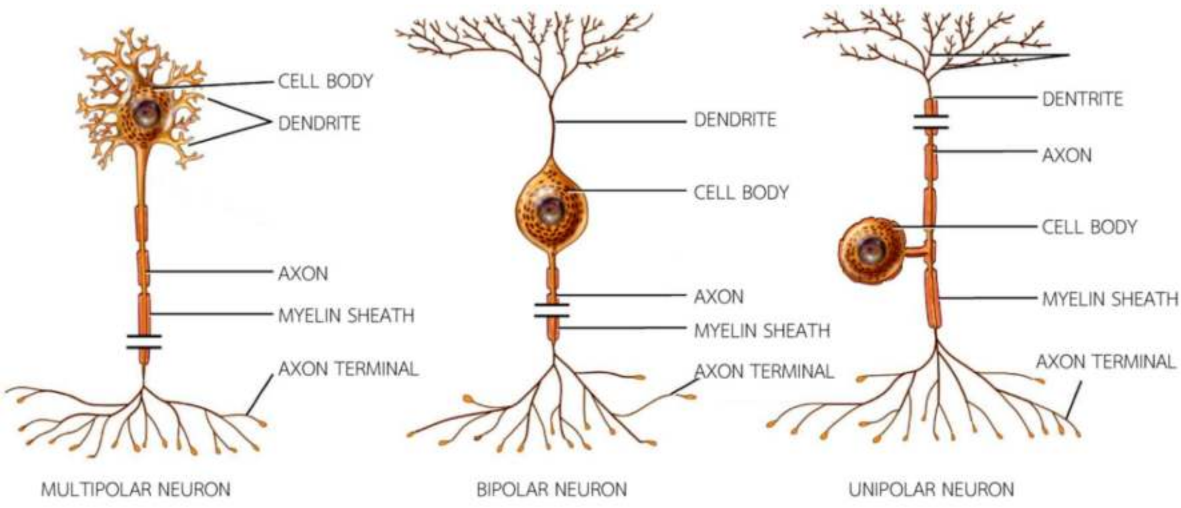
**1.1 Golgi type I** ได้แก่ เซลล์ประสาทที่มี axon ยาวๆ เช่น pyramidal cells

**1.2 Golgi type II** ได้แก่ เซลล์ประสาทที่มี axon สั้นๆ พบได้ทั่วไป

**2. แบ่งตามจำนวนของ Process** ที่ยื่นออกจากเซลล์ มี 3 ชนิด คือ

**2.1 เซลล์ประสาทขั้วเดียว (Unipolar neuron)** ได้แก่ เซลล์ประสาทที่มีส่วนที่ยื่นแยกจากตัวเซลล์เพียง 1 เส้น แล้วแยกออกเป็นแขนงกลาง ทำหน้าที่เป็นแอกซอน และส่วนที่เป็นแขนงปลาย ทำหน้าที่เป็นเดนไดรต์ พบได้ที่ปมประสาทด้านหลังของไขสันหลัง ปมประสาทของประสาทสมองคู่ที่ 5

**2.2 เซลล์ประสาทสองขั้ว (bipolar neuron)** ส่วนใหญ่เป็นเซลล์ประสาทรับความรู้สึกที่มีส่วนที่ยื่นแยกจากตัวเซลล์ 2 ข้าง คือมี 1 เดนไดรต์ และ 1 แอกซอน พบได้ที่เซลล์ประสาทบริเวณเรตินาในดวงตา เซลล์รับกลิ่นในจมูกและเซลล์ของหูชั้นใน



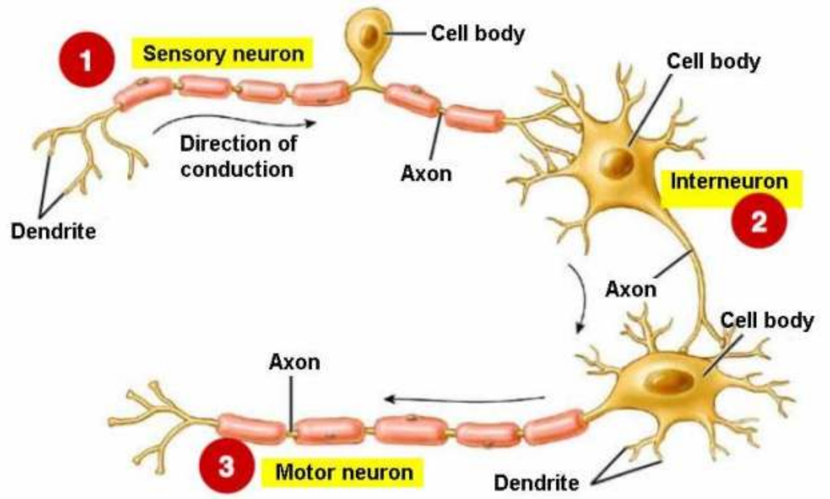

รูปที่ 13-9 แสดงเซลล์ประสาทแบ่งตามจำนวน process ที่ยื่นออกจากเซลล์

**3. แบ่งตามหน้าที่**

**3.1 เซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neurons)** เป็นเซลล์ประสาทนำเข้า (afferent neuron) ซึ่งนำกระแสประสาทจากตัวรับความรู้สึกในผิวหนังและอวัยวะรับความรู้สึก ไปยังสมองและไขสันหลัง

**3.2 เซลล์ประสาทประสานงาน (association neurons หรือ interneurons)** เป็นเซลล์ประสาทที่อยู่ในสมองและไขสันหลัง มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึกและประสาทสั่งการ

**3.3 เซลล์ประสาทสั่งการ (motor neurons)** เป็นเซลล์ประสาทนำออก (efferent neurons) ที่มีใยประสาทแอกซอนยาวกว่าเดนไดรต์ โดยอาจยาวถึง 1 เมตร มีหน้าที่ส่งกระแสประสาทออกจากไขสันหลังไปยังหน่วยปฏิบัติงาน ได้แก่ กล้ามเนื้อแขนขา ที่อยู่ห่างไกลจากไขสันหลัง




รูปที่ 13-10 แสดงเซลล์ประสาท Sensory neuron, Motor neuron และเซลล์ประสาท Interneuron

## 1.3 Nerve fiber (เส้นใยประสาท)

Nerve fiber หมายถึง axon รวมกับเปลือกที่หุ้ม ได้แก่ myelin sheath, sheath of Schwann และ endoneurium หลายๆ เส้นใยประสาทจะรวมกันเป็นมัด **fascicle** และ หลายๆ fascicle รวมกันเป็น **nerve**

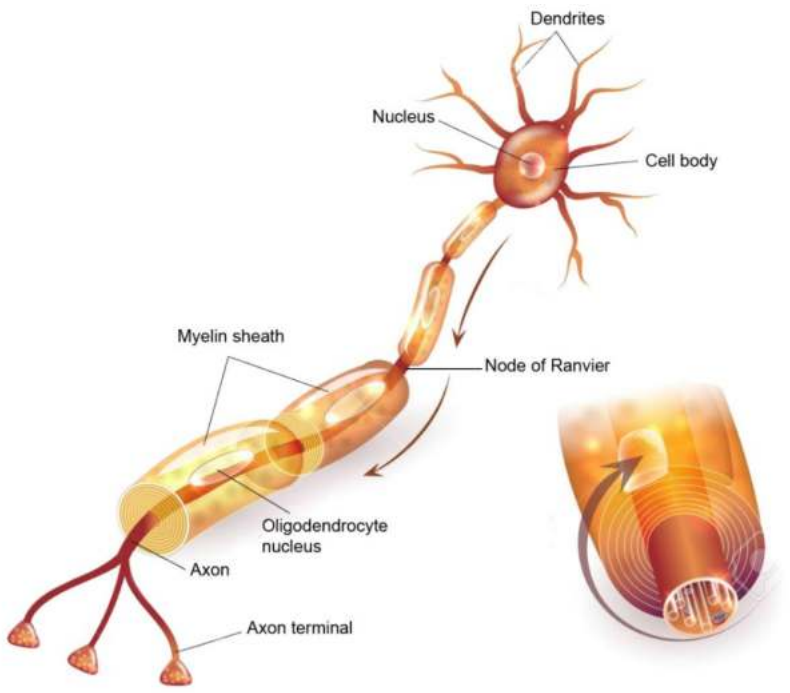
**Nerve fiber** แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

**1. Myelinated nerve fiber** หมายถึง เส้นใยประสาทที่มี myelin sheath หุ้ม myelin เป็นสารพวกไขมัน ในระบบประสาทส่วนกลาง myelin สร้างจากเซลล์ oligodendrocyte ส่วนในประสาทส่วนปลายสร้างจากเซลล์ Schwann cells ลักษณะของ myelin sheath จะเป็นปล้อง (segment) แต่ละปล้องยาวประมาณ 0.5-1 mm. ระหว่างปล้องจะมีช่องว่าง เรียกว่า **Node of Ranvier** ซึ่งจะไม่มี myelin หุ้ม

ในระบบประสาทส่วนกลางเซลล์ oligodendrocyte 1 ตัว สามารถจะให้ myelin ไปหุ้ม axon ได้ถึง 30-60 axon แต่ในประสาทส่วนปลาย Schwann cells 1 ตัว หุ้ม axon ได้เพียง 1 axon เท่านั้น

**2. Unmyelinated nerve fiber** หมายถึง เส้นใยประสาทที่ไม่มีเปลือกหุ้ม

Axon ที่มีขนาดใหญ่และมีเปลือกหุ้ม จะสามารถนำสัญญาณประสาทได้เร็วกว่า axon ที่มีขนาดเล็กและไม่มีเปลือกหุ้ม

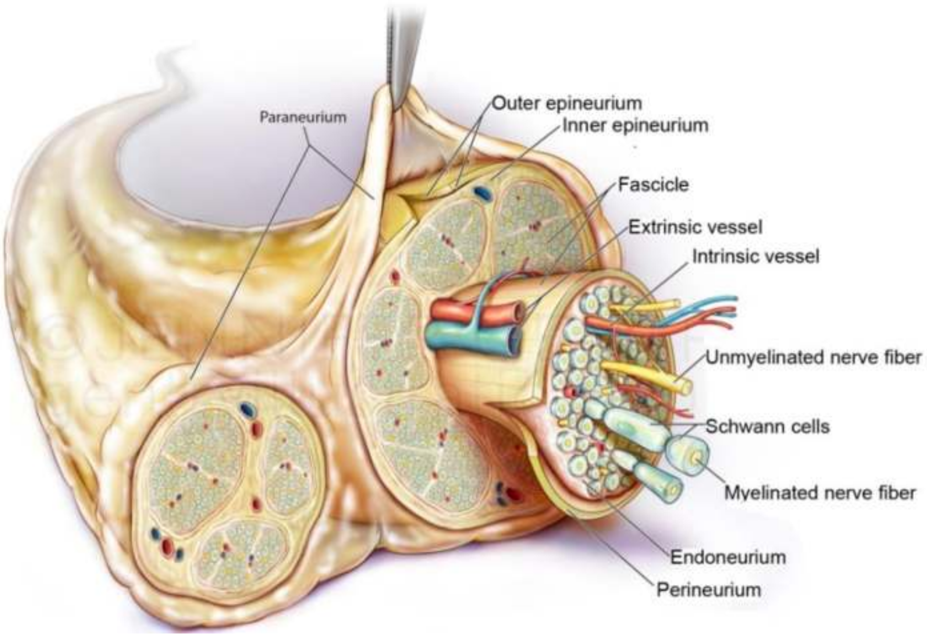



รูปที่ 13-11 แสดง Myelinated nerve fiber ในระบบประสาทส่วนกลาง

**Nerve (เส้นประสาท)**

หมายถึง กลุ่มของเส้นใยประสาทที่รวมกันเป็นมัด (fascicle) และมีเนื้อเกี่ยวยึดต่อหุ้มไว้ สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น sciatic nerve

ถ้านำเส้นประสาทมาตัดตามขวางจะพบว่ามีเนื้อเกี่ยวพันหุ้มรอบเส้นประสาททั้งเส้น เรียกว่า **epineurium** ส่วนที่หุ้มแต่ละ fascicle เรียก **perineurium** และที่หุ้มแต่ละ nerve fiber เรียก **endoneurium**




รูปที่ 13-12 แสดง epineurium, perineurium และ endoneurium

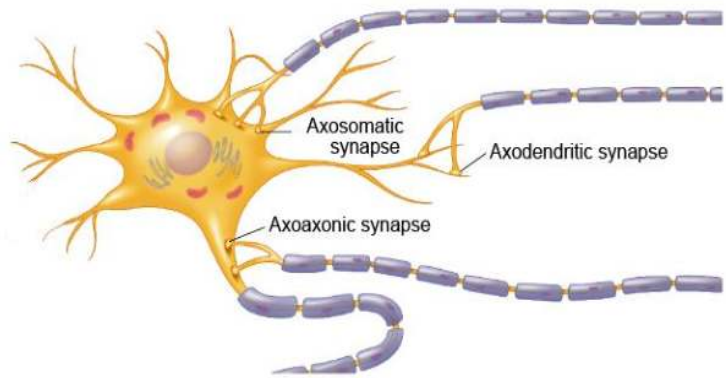
### 1.4 Synapse

หมายถึง บริเวณที่ปลายของ axon ของเซลล์ตัวหนึ่งมาสัมผัสกับส่วน cell body, dendrite หรือ axon ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง ส่วนปลายของ axon ที่จะมาประกอบขึ้นเป็น synapse จะมีลักษณะป่องออก เรียกว่า bouton ซึ่งจะไปสัมผัสกับส่วนต่างๆ ของเซลล์อีกตัวหนึ่ง Synapse แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

**1. Axodendritic synapse** เกิดจาก axon terminal ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งไป synapse กับ dendrite ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง แบบนี้พบมากที่สุด

**2. Axosomatic synapse** เกิดจาก axon terminal ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งไป synapse กับ body ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง

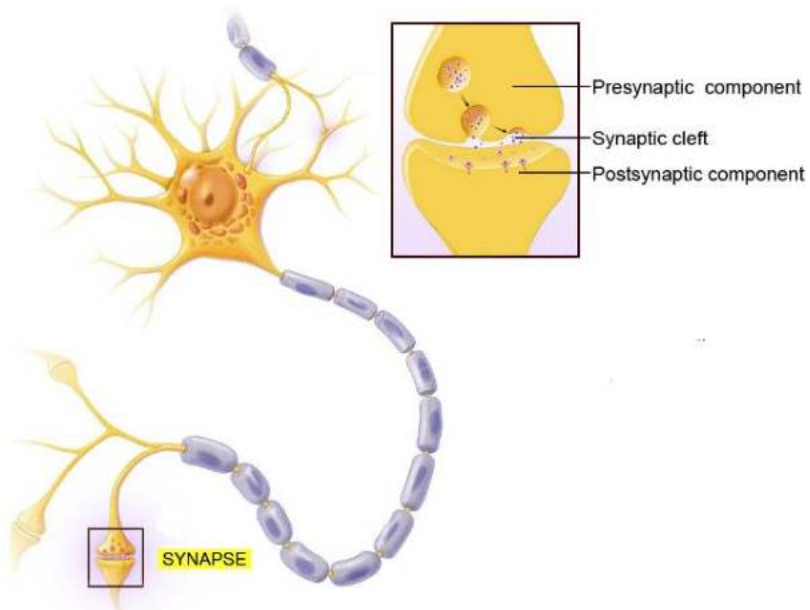
**3. Axoaxonic synapse** เกิดจาก axon terminal ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งไป synapse กับ axon ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง แบบนี้พบน้อยที่สุด




รูปที่ 13-13 แสดงลักษณะของ synapse ชนิดต่างๆ

**ลักษณะโครงสร้างของ Synapse** ประกอบไปด้วย

**1. บริเวณก่อนซิแนปส์ (presynaptic components)** เป็นบริเวณส่วนปลายแอกซอนซึ่งมีถุงซิแนปส์ที่มีสารสื่อประสาทอยู่ภายใน (synapse vesicle)




รูปที่ 13-14 ลักษณะโครงสร้างของ Synapse

**2. ช่องซิแนปส์ (synaptic cleft)** เป็นช่องว่างระหว่างเยื่อบุก่อนซิแนปส์ (presynaptic membrane) กับหลังซิแนปส์ (postsynaptic membrane) มีความกว้างประมาณ 100 - 200 อังสตรอม

**3. บริเวณหลังซิแนปส์ (postsynaptic components)** ประกอบด้วยเยื่อบุ ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่งซึ่งหนาขึ้น เรียกเยื่อบุหลังซิแนปส์ (postsynaptic membrane) ตรงบริเวณนี้มีตัวรับ (receptor) สำหรับสารสื่อประสาทโดยเฉพาะ

### 1.2.2 Neuroglia (เซลล์ค้ำจุนในระบบประสาท)

เซลล์ค้ำจุนในระบบประสาท จะมีจำนวนมากกว่าเซลล์ประสาทประมาณ 5 เท่า เซลล์พวกนี้ทำหน้าที่เป็นโครงให้กับเนื้อเยื่อประสาท ช่วยค้ำจุน ให้อาหารและทำหน้าที่เป็นฉนวน ในระบบประสาทส่วนกลางมี เซลล์ค้ำจุน 4 ชนิด ได้แก่ astroglia, oligodendrocytes, microglia และ ependymal cells ส่วนในระบบประสาทส่วนปลายมีเซลล์ค้ำจุน 2 ชนิด ได้แก่ satellite cells และ Schwann cells

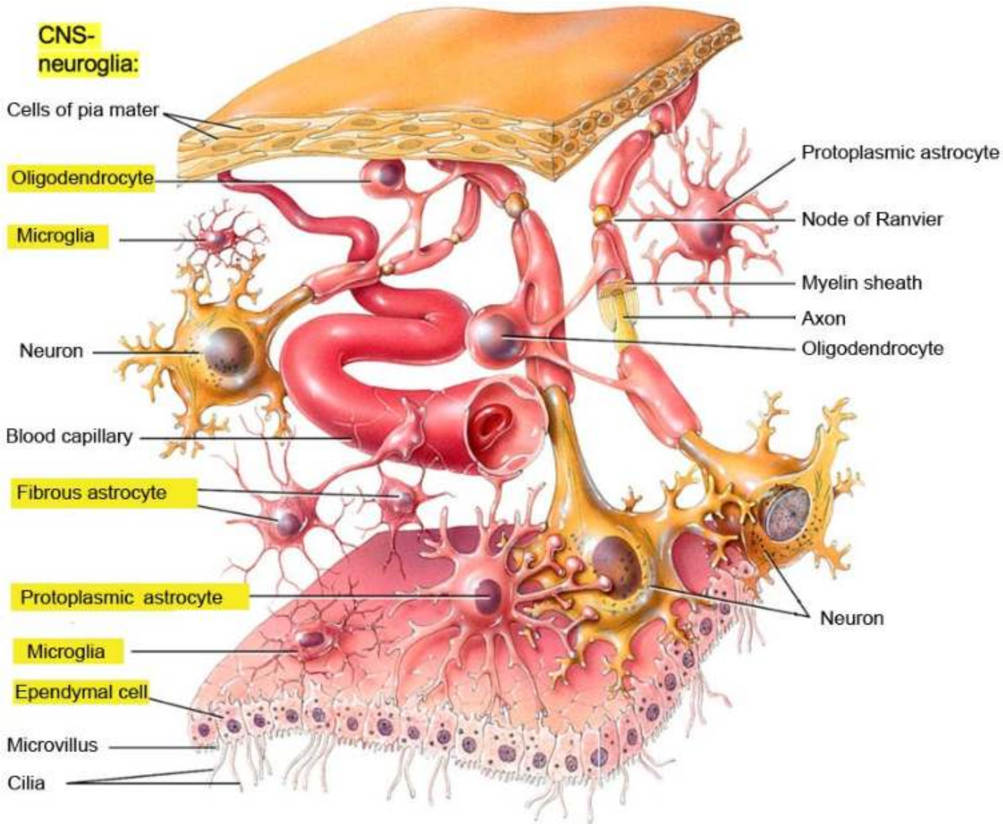
**เซลล์ค้ำจุนในระบบประสาทส่วนกลาง** แต่ละชนิด มีหน้าที่ ดังนี้

**1. แอสโตรเกลียหรือแอสโตรไซต์ (Astroglia or Astrocytes)** ช่วยควบคุมควบคุมการซึมผ่านเข้าออกของสารเคมีต่างๆ จากเส้นเลือดสู่เนื้อเยื่อประสาท (blood–brain barrier)

**2. โอลิโกเดนโดไซต์ (Oligodendrocytes)** สร้างเยื่อไมอีลินในระบบประสาทส่วนกลาง

**3. ไมโครเกลีย (Microglia)** ทำหน้าที่เก็บกินสิ่งแปลกปลอมหรือเซลล์ที่ตายแล้ว

**4. Ependymal cells** เป็นเซลล์ที่คาดที่ผนังของช่องว่างในสมอง ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างและดูดซึมน้ำไขสันหลัง




รูปที่ 13-15 แสดงเซลล์ค้ำจุนเซลล์ประสาท

**เซลล์ค้ำจุนในระบบประสาทส่วนปลาย** แต่ละชนิด มีหน้าที่ ดังนี้

**1. Satellite cell** : เป็นเซลล์ขนาดเล็กที่เกาะอยู่ที่ผิวของเซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนปลาย ทำหน้าที่สร้าง myelin และ neurolemmal sheaths หุ้มเส้นประสาทส่วนปลาย และช่วยปรับสภาพองค์ ประกอบทางเคมีภายนอกเซลล์

**2. Schwann's cell** : อยู่ล้อมรอบเซลล์ประสาทในปมประสาท เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้าง myelin sheath ห่อหุ้ม axon ในระบบประสาทส่วนปลาย

## 1.5 Ganglion (ปมประสาท)

หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ประสาท ซึ่งอยู่นอกระบบประสาทส่วนกลาง แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

**1. Sensory ganglion** หมายถึง ปมประสาทรับความรู้สึก เช่น dorsal root ganglion

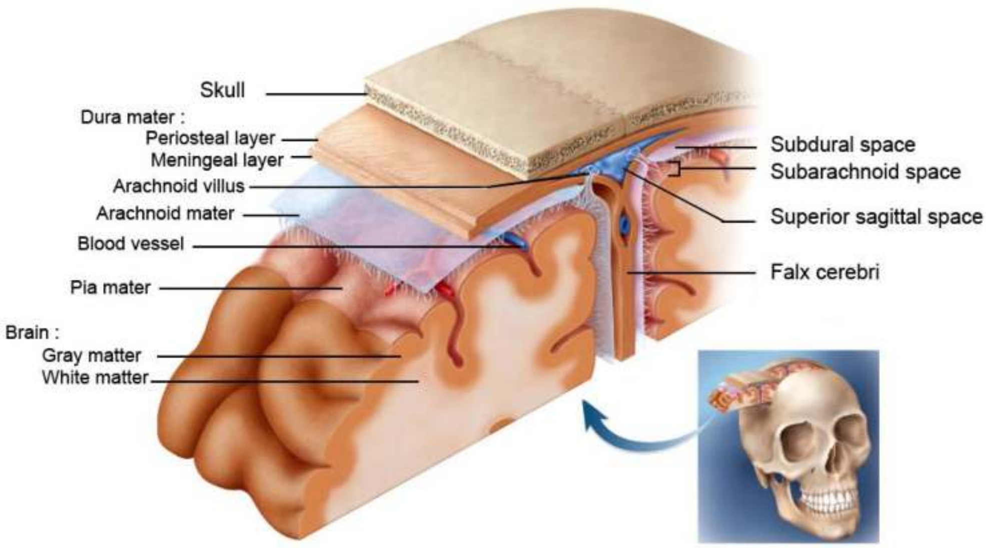
**2. Autonomic ganglion** หมายถึง ปมประสาทอัตโนมัติ มี 2 ชนิด คือ ปมประสาท sympathetic ganglion และ parasympathetic ganglion ดูรายละเอียดในระบบประสาทอัตโนมัติ

## 1.6 Meninges (เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง)

เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง มี 3 ชั้น ได้แก่

**1. ชั้นนอกสุด (Dura mater)** ชั้นนี้มีความหนา เหนียวและแข็งแรง ทำหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือนให้กับส่วนที่เป็นเนื้อสมองและไขสันหลัง ช่องระหว่าง dura mater กับกะโหลกศีรษะ เรียกว่า **epidural space**

**2. ชั้นกลาง (Arachnoid mater)** เป็นชั้นบางๆ แยกจากชั้นดูราด้วยช่องว่างที่เรียกว่า **subdural space**




รูปที่ 13-16 แสดงเยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง

**3. ชั้นในสุด (Pia mater)** เป็นชั้นที่แนบสนิทไปตามรอยโค้งเว้าของสมองและไขสันหลัง มีเส้นเลือดมาเลี้ยงมากที่สุด เพื่อนำสารอาหารและออกซิเจนมาเลี้ยงสมองและไขสันหลัง

ระหว่างเยื่อหุ้มสมองชั้นกลางกับชั้นในเป็นช่องว่าง เรียกว่า **subarachnoid space** ซึ่งเป็นที่อยู่ของน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (cerebrospinal fluid : CSF)

เยื่อหุ้มสมองจะมีหลอดโลหิตแดงมาเลี้ยง ที่สำคัญมีหนึ่งเส้นตรงบริเวณทัดดอกไม้ ซึ่งอยู่เหนือใบหู เรียกว่า middle meningeal artery ถ้ากะโหลกศีรษะแตกที่บริเวณนี้จะไปบาดถูกหลอดเลือดนี้ ทำให้เกิดเลือดออกขังอยู่นอก dura mater เรียกว่า epidural hemorrhage จำเป็นต้องรีบผ่าตัดเอาก้อนเลือดออก

### 1.7 Ventricle (ช่องว่างภายในสมอง)

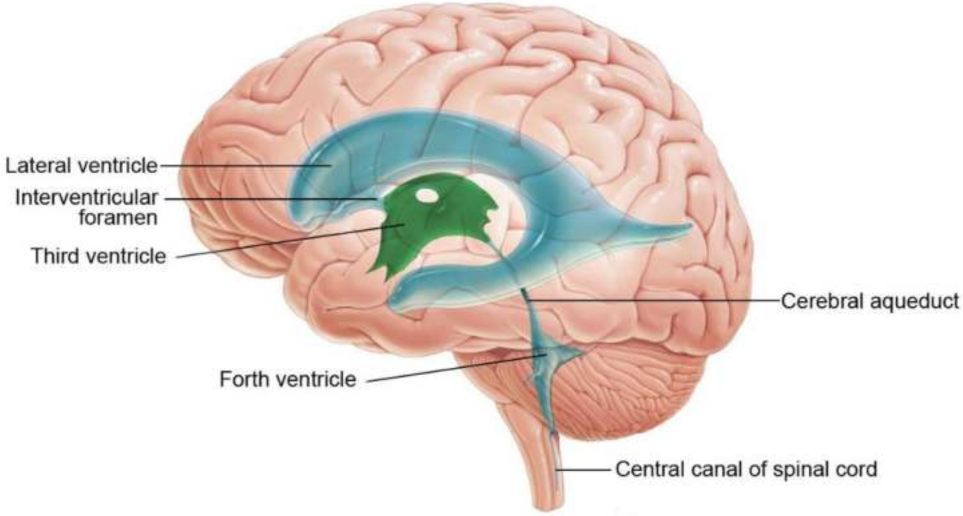
ภายในเนื้อสมองจะมีช่องว่างซึ่งจะมีน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลังบรรจุอยู่ ช่องว่างนี้ เรียกว่า **ventricles** มีทั้งหมด 4 ช่อง ได้แก่

**1. Lateral ventricle** เป็นช่องว่างที่อยู่ภายใน cerebral hemisphere ทั้ง 2 ข้าง เรียกว่า left lateral ventricles และ right lateral ventricles ช่องว่างนี้ติดต่อถึงกันได้ทางช่องชื่อ Foramen of Monro และติดต่อกับช่องว่างที่ 3

**2. Third ventricle** เป็นช่องว่างที่อยู่ในส่วนของทาลามัส

**3. Fourth ventricle** เป็นช่องว่างที่อยู่ใต้สมองน้อย และอยู่บนหลังคาของ pons ช่องนี้ติดต่อกับ third ventricles ทางท่อ cerebral aqueduct (aqueduct of Sylvius)

fourth ventricle จะมีทางติดต่อกับ subarachnoid space ทางรูที่อยู่ตรงกลาง ชื่อ foramen of Magendie และรูข้างๆ ชื่อ foramen of Luschka

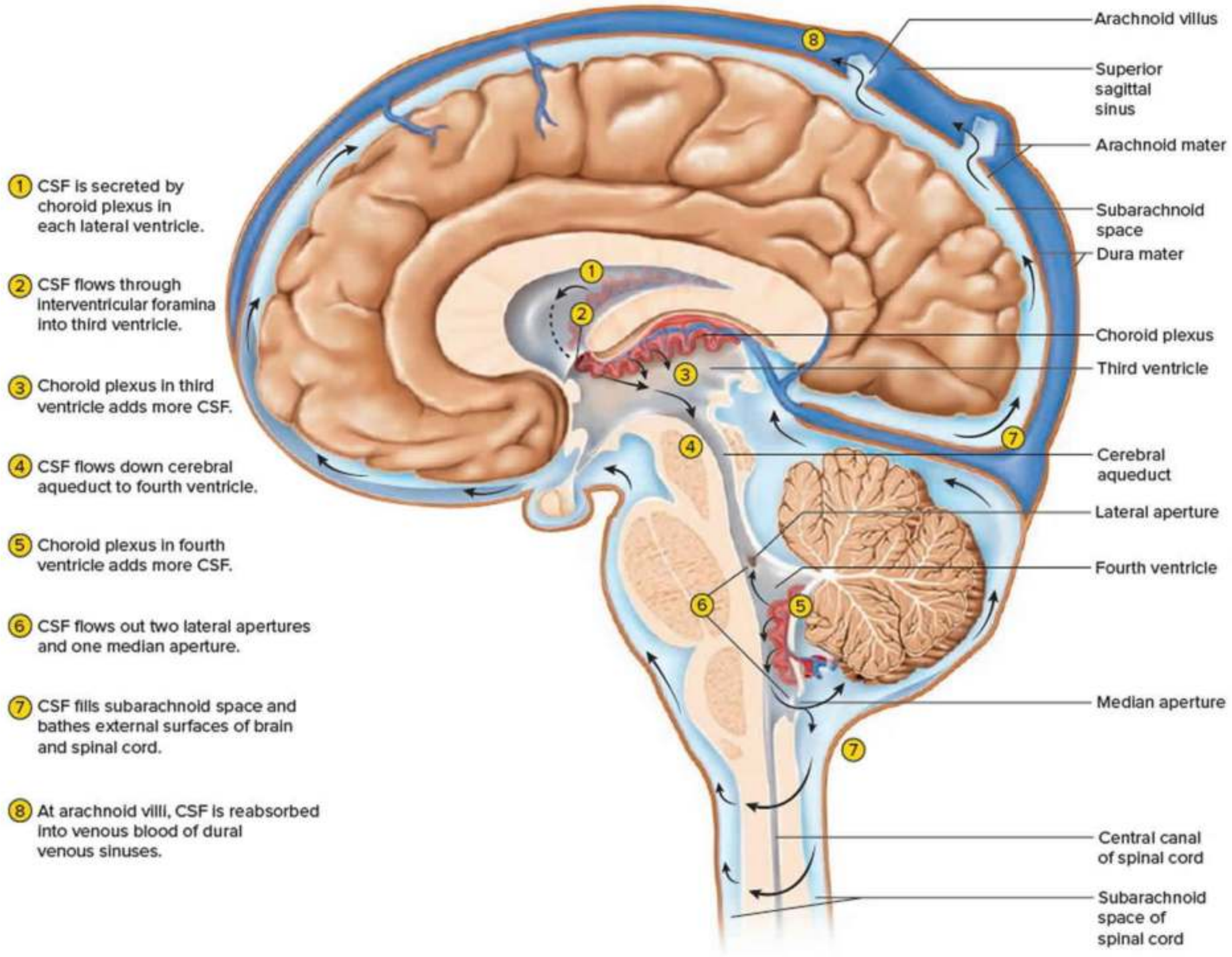



รูปที่ 13-17 แสดงช่องว่างภายในสมอง (ventricle)

### 1.8 Cerebrospinal fluid, CSF (น้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง)

น้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง สร้างมาจากคอรอยด์ เพล็กซัส (choroid plexus) ที่อยู่ใน lateral และ forth ventricle เข้าไปอยู่ในโพรงสมอง (ventricle) หลังจากนั้นจะไหลออกสู่ subarachnoid space ทาง foramen of Magendie และ foramen of Luschka อาบไปทั้งสมองและไขสันหลัง และถูกดูดซึมกลับ dural sinus ทาง arachnoid granulation จาก dura sinus จะถูกส่งไปยัง internal jugular vein ต่อไป

น้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง ประกอบด้วยสารอาหารพวก โปรตีน น้ำตาล และเกลือแร่ น้ำมีหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือนของสมองและไขสันหลัง นำอาหารไปเลี้ยงสมองและไขสันหลัง แล้วนำของเสียเข้าสู่ระบบหมุนเวียนของหลอดเลือดดำทางอะแรชนอยด์ วิลไล (arachnoid villi) ต่อไป เพื่อรักษาความดันในสมองให้คงที่




รูปที่ 13-18 แสดงการไหลเวียนของน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง

### 1.9 การเสื่อมสลาย และการงอกใหม่ของเซลล์ประสาท

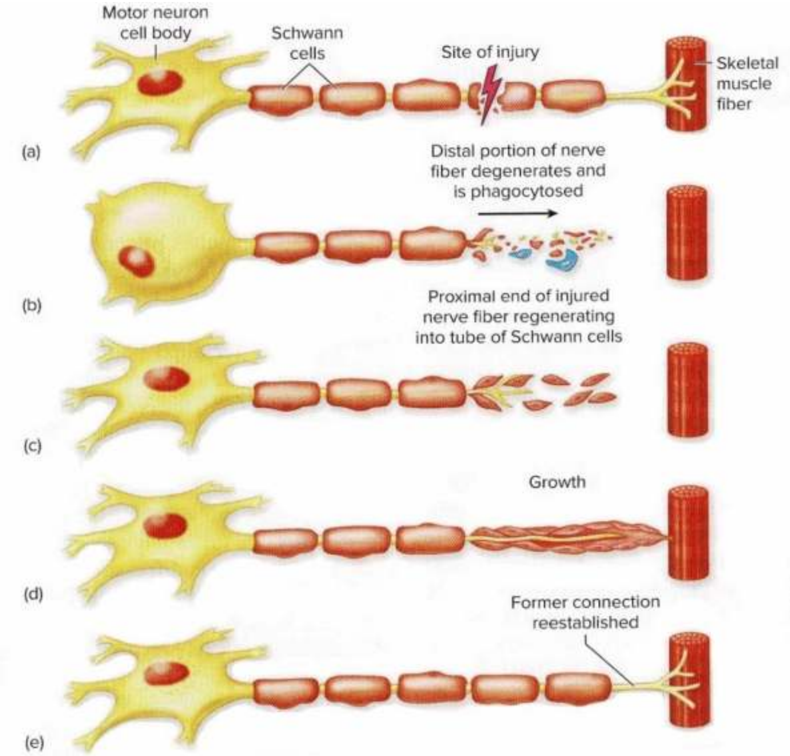
เมื่อ axon ของเซลล์ประสาทถูกตัดขาด ส่วนที่ถูกตัดขาดจากตัวเซลล์ประสาทจะเริ่มมีการเสื่อมสลาย (degenration) ซึ่งจะเกิดภายใน 12 ชม. ต่อมาจะแตกเป็นท่อนๆ และสลายไป การสลายแบบนี้เรียกว่า **anterograde degeneration** ถ้าเป็น myelinated axon พบว่าส่วนของ myelin จะหายไป ถ้าเซลล์ที่สร้าง myelin ยังคงอยู่ ก็สามารถสร้าง myelin สำหรับ process ที่เจริญขึ้นมาใหม่ได้

นอกจากจะมีการเสื่อมสลายที่ส่วนปลายแล้ว พบว่าตัวเซลล์ประสาทก็มีการเสื่อมสลายเช่นเดียวกัน เรียกว่า **retrograde degeneration** พบว่าตัวเซลล์ประสาทจะบวม นิวเคลียสถูกดันไปด้านข้าง ส่วนของ nissl body จะหายไป ซึ่งจะทำให้เซลล์ตาย ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า **chromatolysis** เซลล์ประสาทเมื่อตายแล้ว จะไม่มีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมา

สำหรับประสาทส่วนปลาย พบว่าส่วนต้นๆ ของบริเวณที่ถูกตัดจะเกิดการเสื่อมสลาย อย่างน้อยก็ถึง node ที่ใกล้ที่สุด แล้วจะเริ่มมีการงอกใหม่ออกไปยังบริเวณใกล้เคียง อัตราการงอกใหม่ประมาณ 1-2 มม.ต่อวัน ยกเว้นใน

กรณีถูกทำลายจนหมด โอกาสที่จะเจริญคืนสู่สภาพเดิมจะน้อยมาก การงอกไปไม่ถึงบริเวณที่เคยไปเลี้ยง หรืออาจงอกออกมาเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า neuroma

กระบวนการ regeneration จะไม่เกิดในประสาทส่วนกลาง เนื่องจากมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วของ neuroglia cells จึงทำให้เกิดการสกัดกั้นการงอกของ axon




รูปที่ 13-19 แสดงการเสื่อมสลายของเซลล์ประสาท

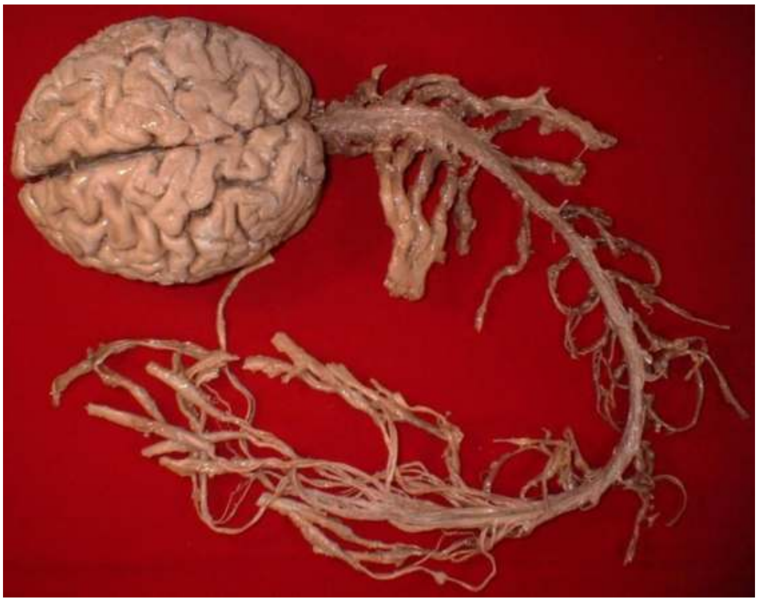
************************************

## ตอนที่ 2
## ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System หรือ CNS)

ระบบประสาทส่วนกลางประกอบด้วย สมอง (Brain) และไขสันหลัง (Spinal cord) หน้าที่หลักของระบบประสาทส่วนกลาง ได้แก่ การผสมผสานสัญญาณต่างๆ ที่เข้าและออกจากระบบประสาท รวมทั้งการทำหน้าที่เกี่ยวกับความนึกคิด การเรียนรู้ และสติปัญญา

### 2.1 สมอง (Brain)

สมองประกอบด้วยเซลล์ประสาทจำนวนล้านล้านเซลล์ บรรจุอยู่ในโพรงกะโหลกศีรษะ (cranial cavity) เพื่อป้องกันสมองไม่ให้ได้รับการกระทบกระเทือน มีการเจริญตั้งแต่เป็นตัวอ่อนในครรภ์มารดาและเจริญอย่างรวดเร็วในอายุระหว่าง 1-9 ปี เจริญเต็มที่อายุ 18-20 ปี มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 1,300 กรัม สมองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ



รูปที่ 13-20 แสดงสมองและไขสันหลังที่เลาะออกมา

**2.1.1 สมองส่วนหน้า (Prosencephalon หรือ forebrain)** ประกอบด้วย

=> Cerebrum (Cerebral hemisphere) กับ Basal ganglia

=> Thalamus

**2.1.2 สมองส่วนกลาง (Mesencephalon หรือ midbrain)** ประกอบด้วย

=> รอยนูน 4 ก้อน (corpora quadrigemina)

=> Cerebral peduncle

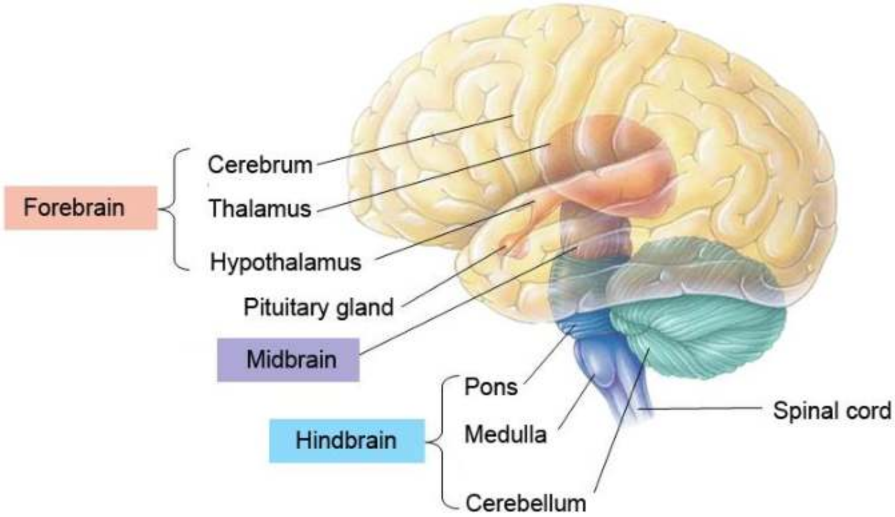
**2.1.3 สมองส่วนหลัง (Rhombencephalon หรือ hindbrain)** ประกอบด้วย

=> Pons, Cerebellum

=> Medulla oblongata

สมองแต่ละส่วนจะมีองค์ประกอบย่อยๆ และมีหน้าที่จำเพาะ แต่ในการทำงานของสมองจะทำงานร่วมกัน มีการติดต่อซึ่งกันและกันด้วยสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ซึ่งอาจจะเป็นการกระตุ้นหรือยับยั้งการ

ทำงานก็ได้ เมื่อสมองส่วนใดส่วนหนึ่งเสียหายไป สมองส่วนอื่นๆ ก็จะพยายามเข้ามาทำหน้าที่แทน ถ้าทำได้ก็ไม่เกิดอาการผิดปกติ แต่ถ้าไม่สามารถทดแทนได้ก็จะเกิดอาการผิดปกติต่างๆ

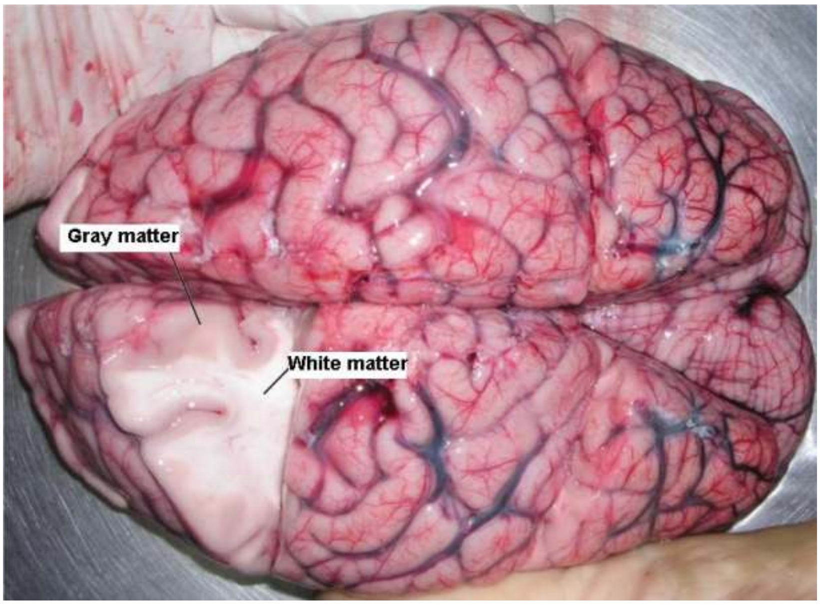



รูปที่ 13-21 แสดงสมองส่วนหน้า (forebrain) สมองส่วนกลาง (midbrain) และสมองส่วนหลัง (hindbrain)

## สมองส่วนหน้า

### Cerebral hemisphere (Cerebrum) หรือ สมองใหญ่

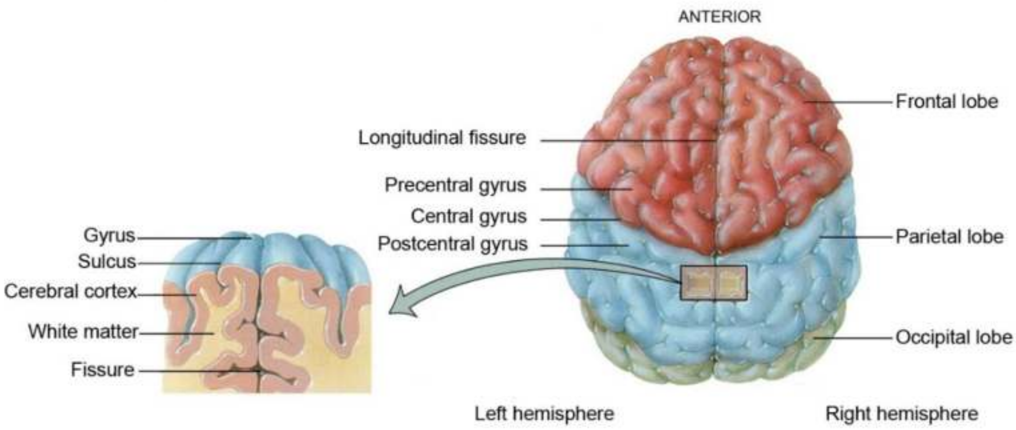
Cerebrum มี 2 ข้าง ได้แก่ ข้างขวา (right cerebral hemisphere) และข้างซ้าย (left cerebral hemisphere) ทั้ง 2 ข้าง มาเชื่อมกันตรงกลางด้วย corpus callosum ส่วนเปลือกนอก เรียกว่า **cerebral cortex** มีลักษณะเป็นลอนๆ ส่วนนูนเรียกว่า **gyrus** และมีร่องเรียกว่า **sulcus** ถ้าเป็นร่องลึกเรียกว่า **fissure** ส่วนเปลือกสมองนี้เป็นที่อยู่ของเซลล์ประสาท เนื้อข้างในจะเป็น **white mater** ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยประสาท (nerve fiber)

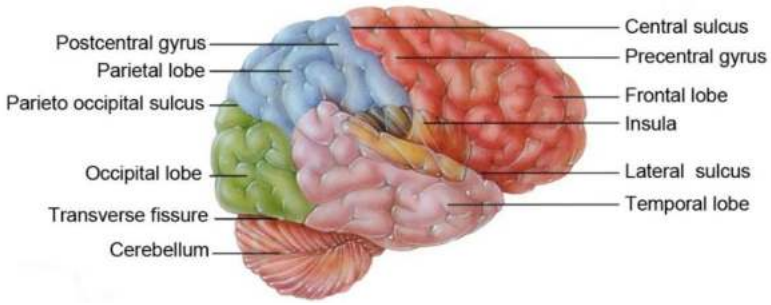



รูปที่ 13-22 แสดง White matter และ Gray matter ของสมอง

**สมองแต่ละข้าง** จะแบ่งเป็นกลีบๆ (lobe) โดยร่องลึก เป็น 5 กลีบ ได้แก่

**1. Frontal lobe** อยู่ทางด้านหน้าสุดของสมองติดกับกระดูกหน้าผาก แยกจาก parietal lobe ด้วยร่องชื่อ central sulcus และแยกจาก temporal lobe ด้วยร่องชื่อ lateral sulcus (lateral sylvian fissure, lateral fissure) ด้านหน้าต่อ central sulcus จะมีลอนชื่อว่า precentral gyrus เป็นสมองที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหวของร่างกายซีกตรงข้าม บริเวณนี้มีอีกชื่อว่า **motor area** บริเวณด้านล่างของ frontal lobe จะมีบริเวณที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการพูด เรียกว่า **Broca's area หรือ motor speech area** นอกจากนี้ทางด้านหน้าของกลีบหน้ายังทำหน้าที่เกี่ยวกับความนึกคิดและอารมณ์ต่างๆ



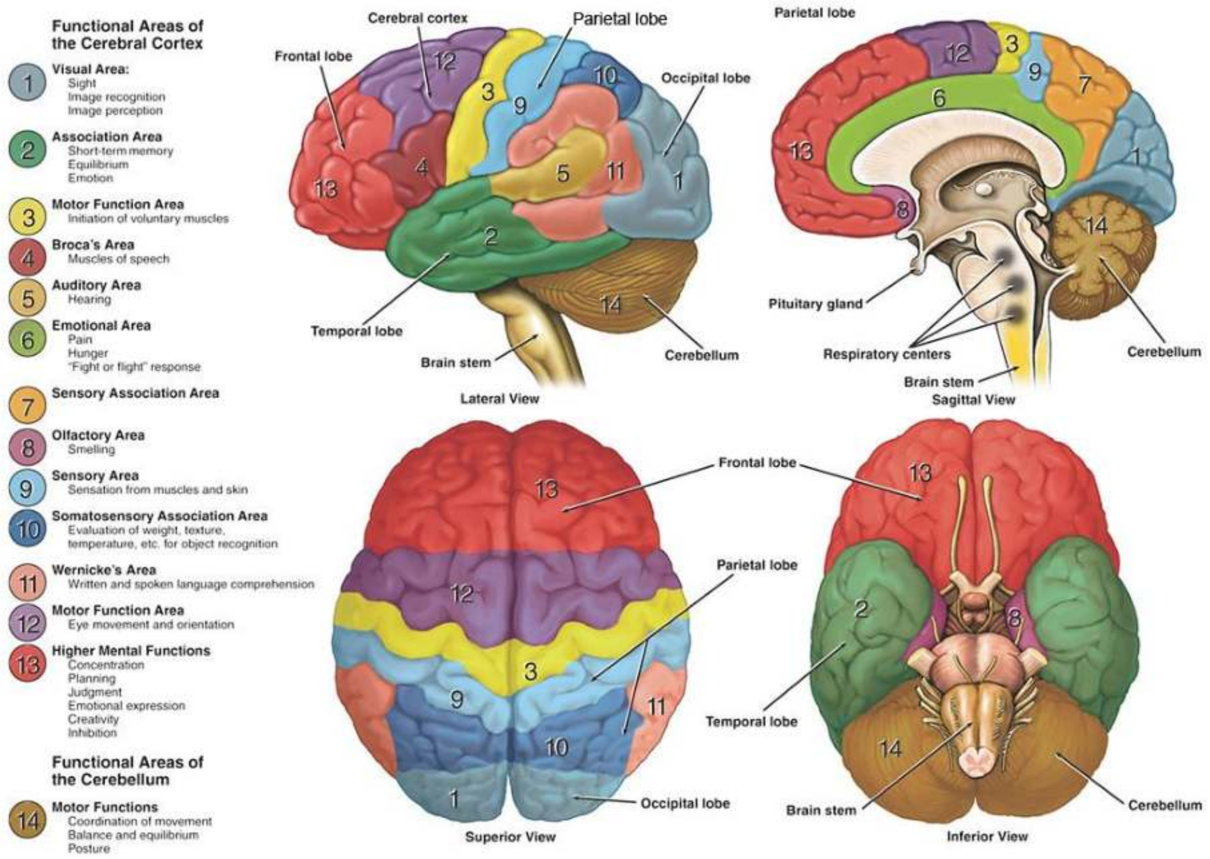

รูปที่ 13-23 แสดงลักษณะสมองเป็นลอนนูน (gyrus) ร่อง (sulcus) ร่องลึก (fissure)

**2. Parietal lobe** อยู่ถัดจาก Frontal lobe มาทางด้านหลัง แยกออกจากกันด้วยร่องสมองที่เรียกว่า central fissure เป็นบริเวณที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับความรู้สึกของร่างกาย เช่น ความเจ็บปวด การสัมผัสความร้อน-เย็น เป็นต้น โดยสมองแต่ละซีกจะรับความรู้สึกจากร่างกายด้านตรงข้าม

**3. Occipital lobe** เป็นกลีบหลังสุด เป็นส่วนหลังสุดของสมอง ทำหน้าที่รับภาพ และแปลความหมายของภาพต่าง ๆ ที่มองเห็น เรียกบริเวณนี้ว่า visual cortex

**4. Temporal lobe** ได้แก่ บริเวณด้านข้างของสมองอยู่ต่ำกว่าร่องสมองขนาดใหญ่ที่เรียกว่า lateral fissure ทำหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับการรับเสียง และแปลความหมาย ส่วนล่างสุดของกลีบสมองนี้ จะม้วนตัวเข้าไปในช่องว่างของสมอง ส่วนที่ม้วนเข้าไป เรียกว่า hippocampus ทำหน้าที่เกี่ยวกับความจำ ด้านหน้าของ hippocampus จะมีกลุ่มเซลล์ประสาทมีชื่อว่า amygdaloid nucleus ทำหน้าที่รับกลิ่น และ อารมณ์

**5. Insular lobe** เป็นกลีบที่ซ่อนอยู่ด้านใน ถูกบังด้วยบางส่วนของ frontal และ parietal lobe กลีบสมองส่วนนี้ เชื่อว่าทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับรู้ความรู้สึกจากอวัยวะภายใน

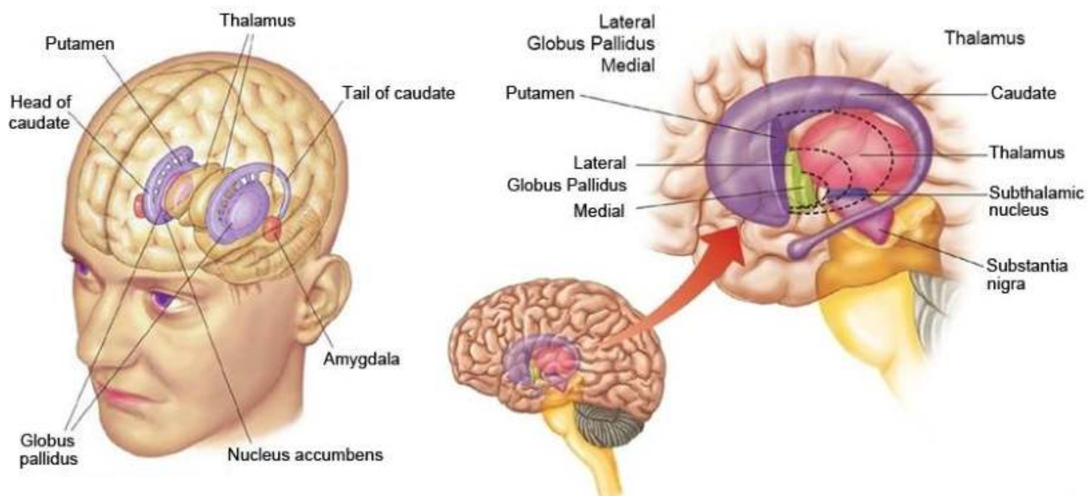



รูปที่ 13-24 แสดงหน้าที่ต่างๆ ของ Cerebrum

## BASAL GANGLIA

เป็นกลุ่มของเซลล์ประสาทที่อยู่ในส่วน white mater ของ cerebral hemisphere ทำหน้าที่ควบคุมและปรับแต่งการเคลื่อนไหว ประกอบด้วย

**1. Caudate nucleus** ลักษณะคล้ายลูกน้ำ มีส่วนหัวที่มีขนาดใหญ่ ส่วนหางเรียว ทำหน้าที่ประสานการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ




รูปที่ 13-25 แสดงกายวิภาคของ Basal ganglia

**2. Lenticular nucleus** รูปร่างคล้ายเลนส์ สมองส่วนนี้ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ประสาท 2 กลุ่ม คือ globus pallidus และ putamen ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อให้มีจังหวะที่ดี ไม่แข็งเกร็ง โดยการทำงานร่วมกับ caudate nucleus และ motor area ของ cerebral cortex

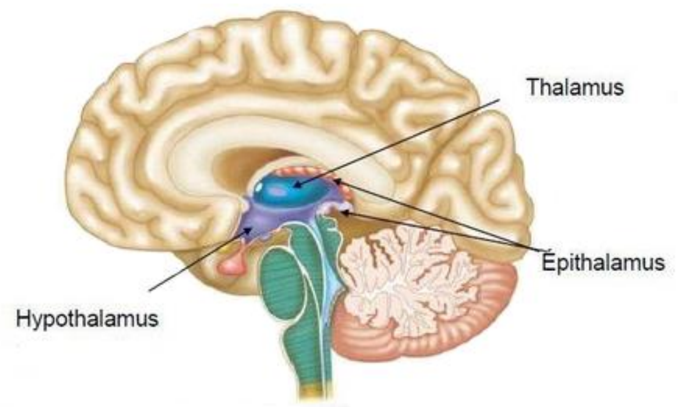
## THALAMUS

สมองส่วนนี้มีลักษณะเป็นก้อน แบ่งออกเป็น

**1. Epithalamus** อยู่ค่อนไปทางข้างหลังของ thalamus เป็นที่ตั้งของต่อมไร้ท่อ pineal gland

**2. Dorsal thalamus** เป็นบริเวณที่เส้นใยประสาทรับความรู้สึกจากไขสันหลัง จากตา และหู จะส่งผ่านมายังสมองส่วนนี้ และส่งต่อไปยังสมองบริเวณต่างๆ ต่อไป

**3. Hypothalamus** อยู่ด้านล่างสุดของ thalamus ทำหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมการสร้างฮอร์โมน ควบคุมการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ รักษาอุณหภูมิกาย ควบคุมการตื่นและการหลับ (sleep-wake cycle) อารมณ์ต่างๆ ส่วนล่างของ hypothalamus จะมีต่อมใต้สมอง ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนหลายชนิด




รูปที่ 13-26 แสดงกายวิภาคของ thalamus

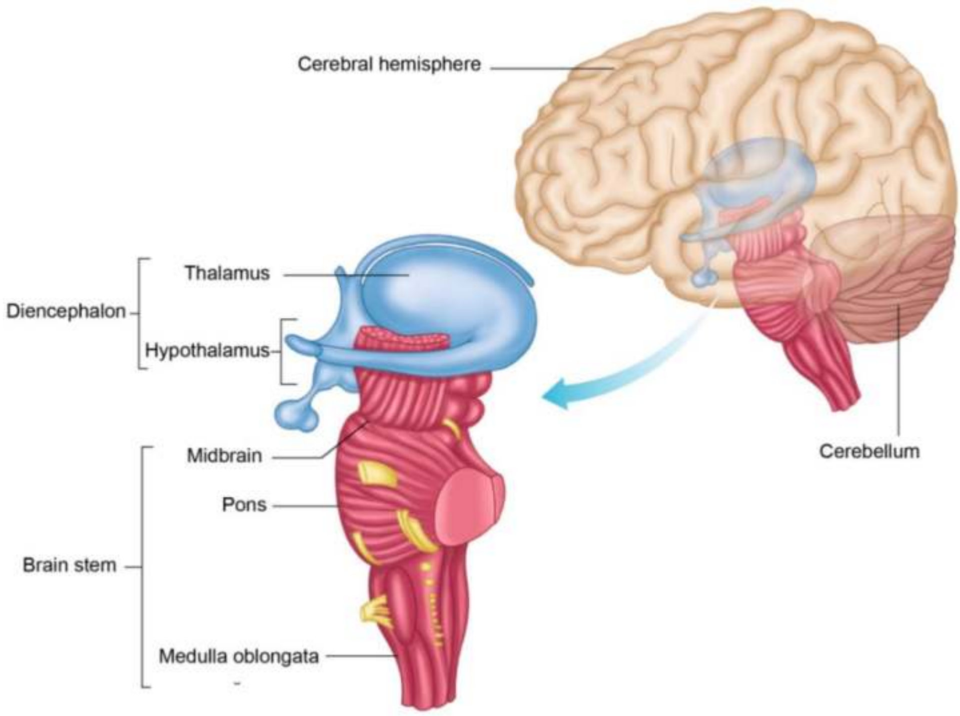
## สมองส่วนกลาง (mid brain)

สมองส่วนกลาง ประกอบด้วย ก้อนนูน 4 ก้อน อยู่ทางด้านหลังมีชื่อว่า Corpora quadrigemina และ 2 ก้อนบน เรียกว่า superior colliculus เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับรีเฟล็กซ์ของการรับภาพ และการเคลื่อนไหวของลูกตา ส่วน 2 ก้อนล่าง เรียกว่า inferior colliculus เป็นบริเวณที่เกี่ยวกับรีเฟล็กซ์ของการรับเสียง

ทางด้านล่าง ของสมองส่วนกลาง จะเป็นแท่ง 2 แท่ง เรียกว่า cerebral peduncle ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยประสาทจากสมองส่วน motor area วิ่งลงมาสู่เซลล์ประสาทในไขสันหลัง เรียกว่า pyramidal tract

ถ้าตัดสมองส่วนกลางในแนวขวาง บริเวณตรงกลางจะพบกลุ่มเซลล์ประสาท ชื่อว่า red nucleus และใต้ต่อ red nucleus จะมีกลุ่มเซลล์ประสาท ชื่อ substantia nigra ในคนสูงอายุ เซลล์ประสาทกลุ่มนี้จะเสื่อมลงเกิดโรคปาร์กินสัน (Parkinsonism) ซึ่งจะแสดงอาการแข็งเกร็งของกล้ามเนื้อ เวลาเดินจะทื่อๆ หน้าตาย และที่นิ้วมือจะสั่นคล้ายปั้นลูกกลอนตลอดเวลาถ้าหยุดนิ่ง

สมองส่วนกลางจะมีเซลล์ประสาทต้นกำเนิดของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3 คือ oculomotor nucleus และเซลล์ประสาทต้นกำเนิดของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 4 คือ trochlea nucleus ดังนั้น สมองส่วนกลาง จะให้เส้นประสาทสมอง 2 คู่ คือ คู่ที่ 3 และคู่ที่ 4




รูปที่ 13-27 แสดงกายวิภาคของสมองส่วนกลาง (mid brain)

## สมองส่วนหลัง (hind brain)

**1. Pons** เป็นส่วนที่ต่อจากสมองส่วนกลาง เนื้อของ pons ทางด้านหลัง เรียกว่า tegmentum ถูกคลุมด้วย cerebellum โดยมีช่องว่างที่ 4 ของสมองคั่นอยู่ ภายใน tegmentum จะมีกลุ่มเซลล์ประสาทต้นกำเนิดของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 – 7 และมีวิถีประสาทนำความรู้สึกจากไขสันหลังเพื่อไปสู่สมองส่วน thalamus

**2. Cerebellum** (สมองน้อย) อยู่ทางด้านหลัง คร่อมอยู่บน pons และ ส่วนบนของ medulla สมองส่วนนี้ประกอบด้วย cerebellar hemisphere (ด้านข้าง) และ cerebellar vermis (ตรงกลาง) สมองส่วนนี้ทำหน้าที่ควบคุมการทรงตัวประสานการทำงานของกล้ามเนื้อร่วมกับ motor area ของ cerebral cortex ทำให้มีการทรงตัวดีขึ้น ถ้าสมองส่วนนี้พิการหรือมีโรคจะทำให้เกิดอาการเดินเซ เวียนศีรษะ และมีอาการสั่นเวลาให้หยิบสิ่งของ แต่ถ้าอยู่นิ่ง ๆ จะไม่สั่น เรียกว่า action tremor

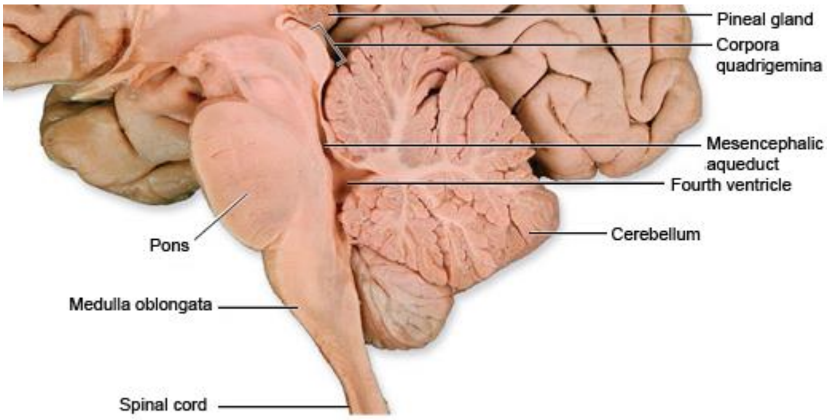
**3. Medulla oblongata** เป็นสมองที่อยู่ต่อจาก pons ภายในเนื้อของ medulla จะมีกลุ่มของเซลล์ประสาทต้นกำเนิดของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8–12 มีหน้าที่สำคัญ คือ

=> มีศูนย์ควบคุมเกี่ยวกับการทำงานด้านต่างๆ ได้แก่ ควบคุมเกี่ยวกับการหายใจ (respiratory center) ควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจ (cardiac center) ควบคุมความดันเลือด (vasomotor center)

=> ควบคุมรีเฟล็กซ์ เช่น ควบคุมการหลั่งน้ำลายจาก parotid gland ควบคุมการกลืน (swallowing center) การเคี้ยว (masticating reflex) การอาเจียน (vomiting reflex) การไอ (coughing) และ การจาม (Sneezing) การกระพริบตา (Blink reflex)

=> เป็นทางผ่านขึ้นลงของเส้นใยประสาท

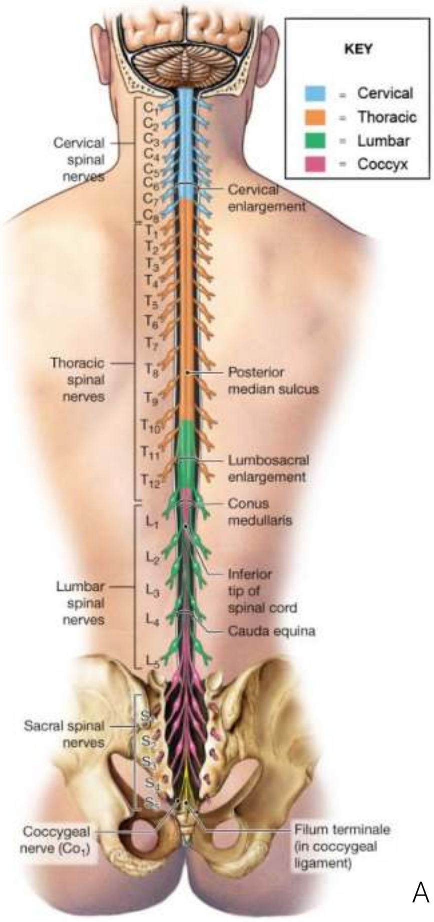
เมื่อรวมสมองส่วน medulla ของ midbrain, pond และ oblongata เข้าด้วยกัน เรียกว่า **brain stem** หรือ ก้านสมอง



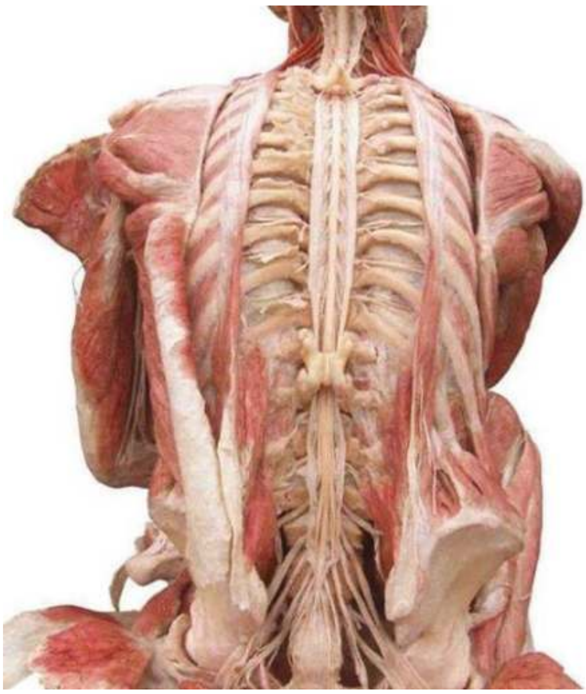

รูปที่ 13-28 แสดงสมองส่วนหลัง (hind brain)

## 2.2 ไขสันหลัง (Spinal cord)

ไขสันหลังเป็นส่วนที่อยู่ต่อจาก medulla oblongata อยู่ภายในช่องของกระดูกสันหลัง ไขสันหลังเริ่มจากส่วนรูที่กระดูกศีรษะส่วนท้ายทอยที่เรียกว่า foramen magnum ไปสิ้นสุดที่กระดูกสันหลังระดับเอวอันที่ 1 ต่อกับ 2




A



B

รูปที่ 13-29 แสดงลักษณะภายนอกของไขสันหลัง (A) ไขสันหลังที่วางตัวอยู่ในช่อง spinal canal และลักษณะ conus medullaris และ cauda aquina (B)

**ลักษณะภายนอกของไขสันหลัง**

ไขสันหลังเป็นรูปทรงกระบอก มีส่วนที่พองออก 2 ตำแหน่ง คือ ส่วนคอ เรียกว่า cervical enlargement และส่วนเอว เรียกว่า lumbar enlargement ส่วนปลายจะเรียวแหลม เรียกว่า conus medullaris และมีกลุ่มเส้นประสาทเป็นพวงที่บริเวณหาง เรียกว่า cauda aquina

ด้านหลังหลังของไขสันหลังจะมีร่องตรงกลาง เรียกว่า dorsal median sulcus และร่องทางด้านข้าง เรียกว่า dorsal lateral sulcus ซึ่งร่องนี้จะมีเส้นใยประสาทชื่อ dorsal nerve root เป็นทางนำเข้าของเส้นประสาทรับความรู้สึกต่างๆ

ที่ dorsal nerve root จะมีปมประสาท เรียกว่า dorsal root ganglion จะมารวมกันเป็นเส้นประสาทไขสันหลัง (spinal nerve)

**ลักษณะภายในของไขสันหลัง**

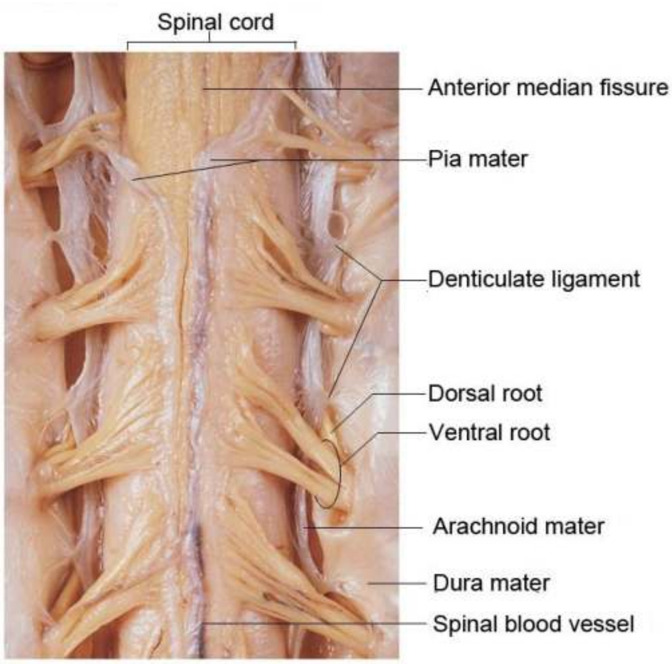
เมื่อตัดไขสันหลังตามขวาง จะพบว่าเนื้อไขสันหลังมี 2 ส่วน ส่วนนอก เรียกว่า **White matter** ส่วนในลักษณะรูปตัว H เรียกว่า **Grey matter**

**1. White mater ของไขสันหลัง** เป็นส่วนที่มีสีขาวรอบนอก ไม่มีเซลล์ประสาท จะมีเฉพาะใยประสาทที่มีเยื่อไมอิลินหุ้ม แบ่งเป็นบริเวณๆ เรียกว่า funiculus หรือ column ดังนี้

=> **Dorsal column** เป็นที่อยู่ของวิถีประสาทรับความรู้สึกเกี่ยวกับตำแหน่งของข้อและร่างกาย (proprioception) ความรู้สึกสัมผัสละเอียดอ่อน (fine touch) และความรู้สึกแยกจุด 2 จุด ออกจากกัน (two point discrimination)

=> **Lateral column** เป็นที่อยู่ของวิถีประสาทรับความรู้สึกเจ็บปวด และวิถีประสาทสั่งการจากสมองที่มาควบคุมการเคลื่อนไหว

=> **Ventral column** เป็นที่อยู่ของวิถีประสาทรับความรู้สึกชนิดหยาบ



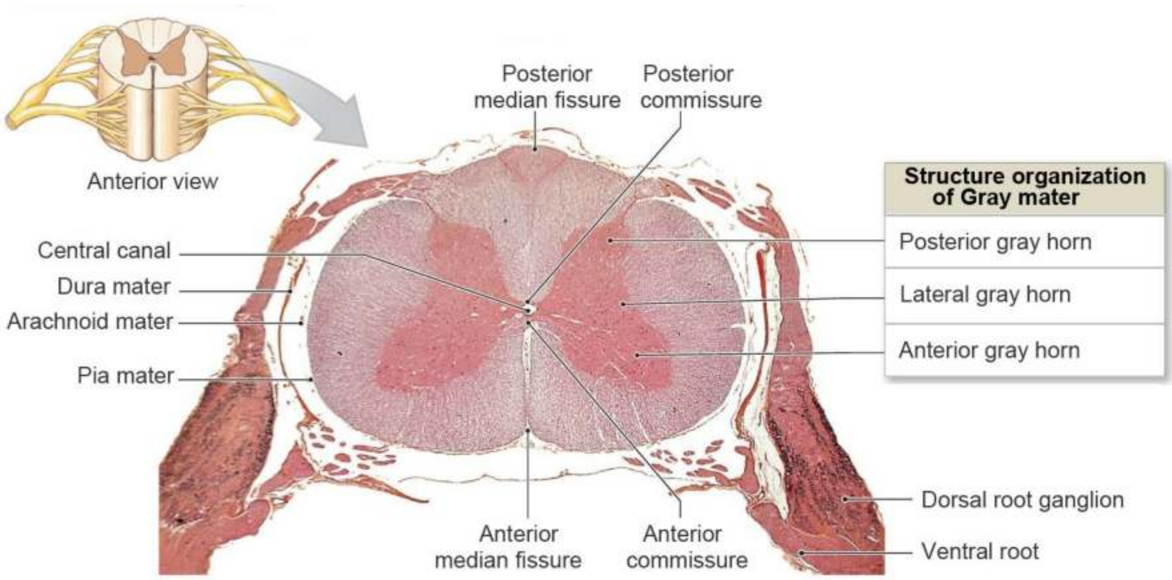

รูปที่ 13-30 แสดงกายวิภาคของไขสันหลัง

**2. Grey mater ของไขสันหลัง**

**=> Dorsal horn (Posterior horn)** เป็นบริเวณที่มีเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neuron) อยู่เป็นจำนวนมาก เรียงตัวเป็นชั้นๆ เรียกว่า lamina เซลล์ประสาทเหล่านี้ส่วนใหญ่รับสัญญาณประสาทจากเซลล์ประสาทในปมประสาทไขสันหลัง

**=> Ventral horn (Anterior horn)** เป็นบริเวณที่มีเซลล์ประสาทสั่งการ (motor neuron) ซึ่งจะให้ axon ออกมาใน ventral nerve root

**=> Lateral horn (Intermediate horn)** เป็นบริเวณที่มีเซลล์ประสาทอัตโนมัติซิมพาเธติก พบเฉพาะในไขสันหลังระดับ thoracic ที่ 1 ถึง lumbar ที่ 3 ให้แอกซอนออกมาผ่าน ventral verve root เข้าสู่ white rami communicans ไปสิ้นสุดที่ sympathetic ganglion cells ในปมประสาทซิมพาเธติก จากเซลล์นี้จะให้แอกซอนออกมาทาง grey rami communicans แล้ววกเข้าสู่ spinal nerve กระจายไปตาม spinal nerve ไปสู่หลอดเลือดของผิวหนังและกล้ามเนื้อเรียบของผิวหนังต่อไป




รูปที่ 13-31 แสดงส่วนต่างๆ ของ Gray mater และ white mater

************************************

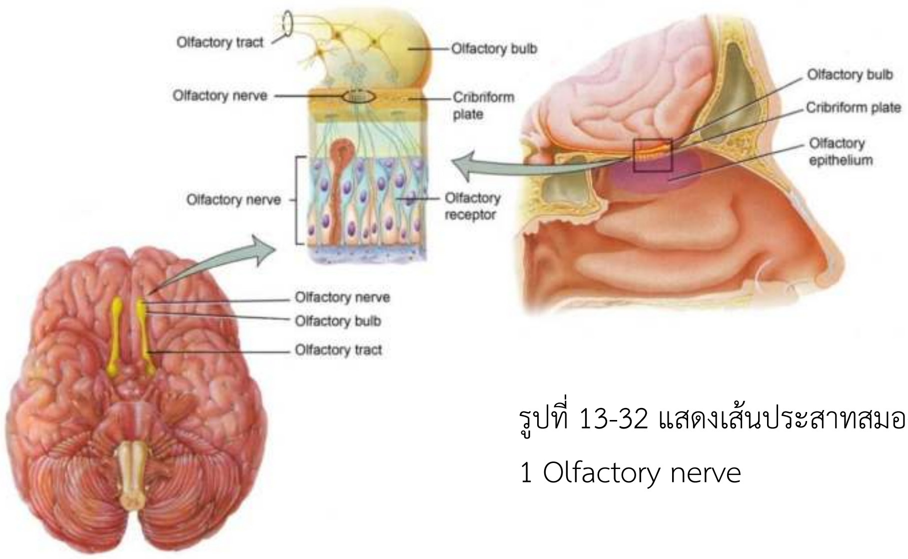
## ตอนที่ 3

## ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral nervous system, PNS)

ระบบประสาทส่วนปลาย ประกอบด้วย เส้นประสาทสมอง (Cranial nerve) และเส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerve) ดังนี้

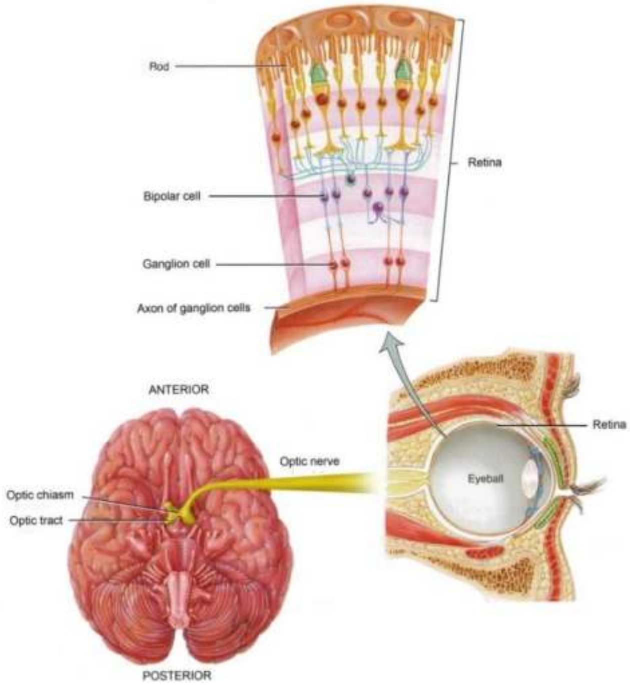
**3.1 เส้นประสาทสมอง (Cranial nerve)** สมองทุกส่วนจะมีเส้นประสาทสมองแยกออกมาเป็นคู่ๆ เพื่อรับสัญญาณความรู้สึก และออกคำสั่งควบคุมหน่วยปฏิบัติงานให้ตอบสนองต่อสิ่งเร้า มี 12 คู่ ได้แก่

**1) Olfactory nerve (CN I)** ทำหน้าที่รับกลิ่นเข้าไปสู่สมอง ปลายประสาทอยู่ที่หลังคาของโพรงจมูก




รูปที่ 13-32 แสดงเส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 Olfactory nerve

**2) Optic nerve (CN II)** เป็นเส้นประสาทที่ทำหน้าที่รับภาพ ปลายประสาทรับภาพอยู่ที่จอตา แล้วรวมกันเป็น optic nerve อยู่ทางหลังลูกตา เข้าสู่สมองส่วนทาลามัส




รูปที่ 13-33 แสดงเส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 Optic nerve

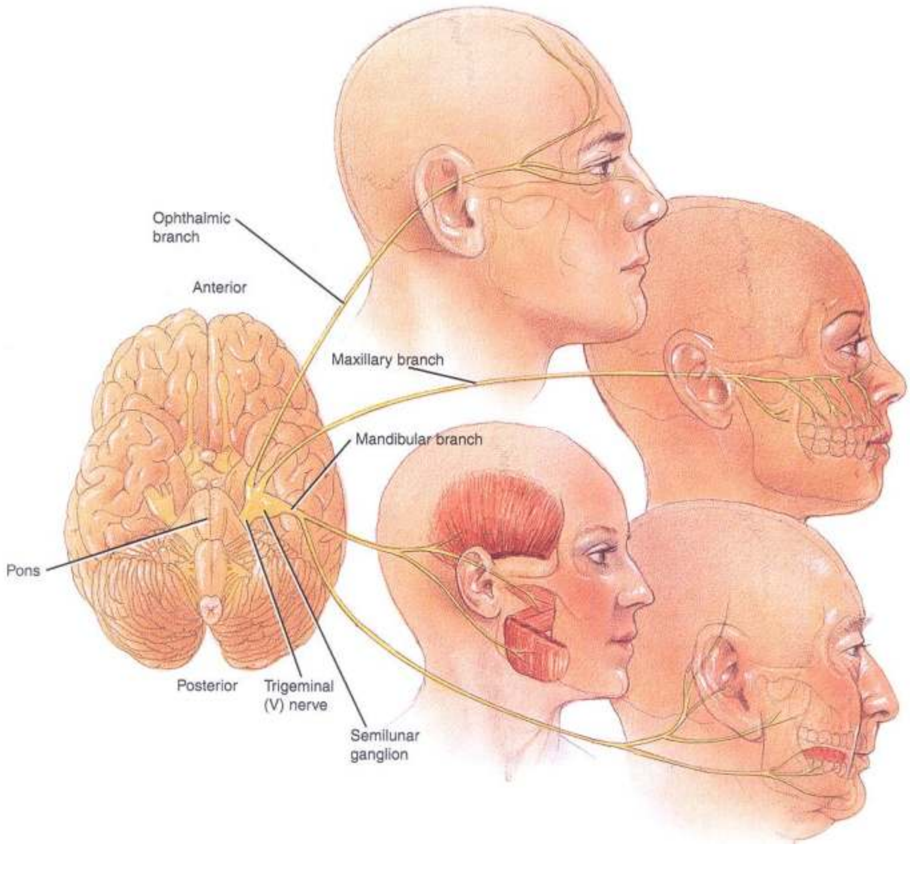
**3) Oculomotor nerve (CN III)** เป็นเส้นประสาทสมองที่ไปควบคุมกล้ามเนื้อลูกตา ได้แก่

| | |
|---|---|
| => Levator palpebrae superioris | ทำหน้าที่ยกเปลือกตาขึ้น |
| => Medial rectus | ทำหน้าที่กลอกลูกตาเข้าใน |
| => Inferior rectus | ทำหน้าที่กรอกลูกตาลงล่าง |
| => Superior rectus | ทำหน้าที่กลอกลูกตาขึ้นบน |
| => Inferior rectus | ทำหน้าที่กลอกลูกตาขึ้นบน |

นอกจากนี้เส้นประสาทยังไปควบคุมกล้ามเนื้อม่านตา ทำให้กล้ามเนื้อม่านตาหดตัวเล็กลง เวลาถูกแสงสว่างมาก ๆ การสูญเสียความสามารถของเส้นประสาททำให้มีอาการหนังตาตก ตาเหล่ไปข้างนอก ม่านตาโตและไม่มีปฏิกริยาต่อแสง

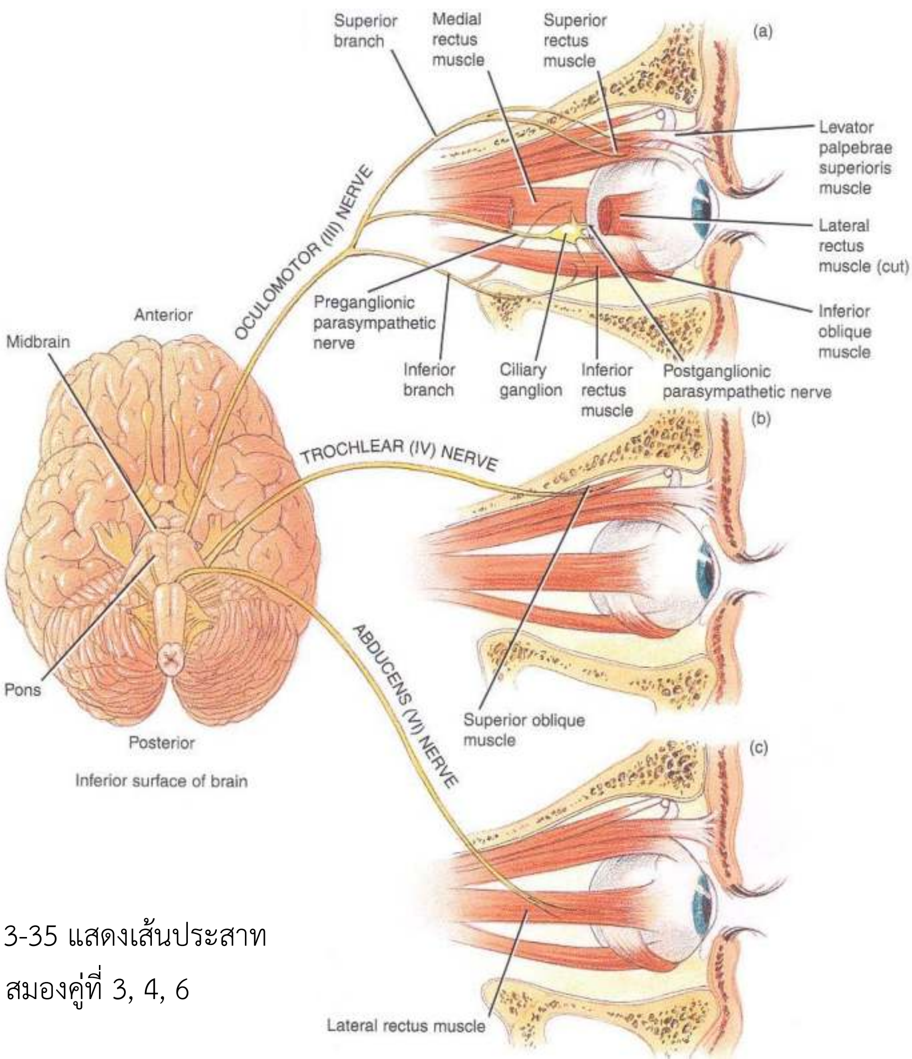
**4) Trochea nerve (CN IV)** เป็นเส้นประสาทสมองที่ไปควบคุมกล้ามเนื้อตา 1 มัด คือ superior obligue ทำหน้าที่กลอกลูกตาลงข้างล่าง

**5) Trigeminal nerve (CN V)** เป็นเส้นประสาทสมองที่ออกมาจากบริเวณ pons แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ Ophthalmic division รับความรู้สึกจากใบหน้า บริเวณหน้าผากและกระจกตา, Maxillary devision รับความรู้สึกจากใบหน้าบริเวณแก้ม และ Mandibular devision รับความรู้สึกจากขากรรไกร และไปเลี้ยงกล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการเคี้ยว



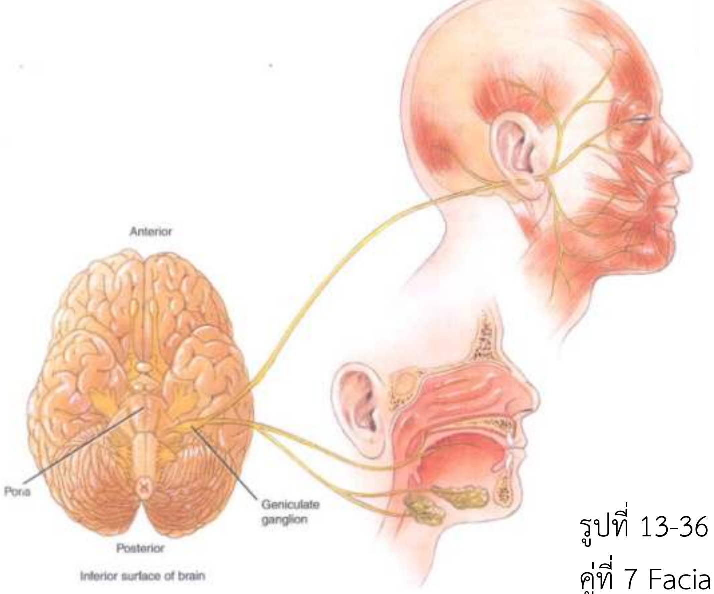

รูปที่13-34 แสดงเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 Trigeminal nerve

**6) Abducens nerve (CN VI)** เป็นเส้นประสาทสมองที่ไปเลี้ยงลูกตา 1 มัด คือ lateral rectus ทำหน้าที่กลอกลูกตาไปทางด้านข้าง ถ้าเส้นประสาทนี้เสียจะทำให้ตาเหล่เข้าข้างใน




รูปที่ 13-35 แสดงเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3, 4, 6

**7) Facial nerve (CN VII)** เส้นประสาททำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อใบหน้า การแสดงสีหน้า ถ้าเส้นประสาทเสียจะทำให้การทำงานของใบหน้าไม่สมดุลกัน เกิดการเบี้ยวขึ้น มุมปากของด้านที่เส้น ประสาทเสียจะตก ตาหลับไม่สนิท ทำหน้าผากย่นไม่ได้

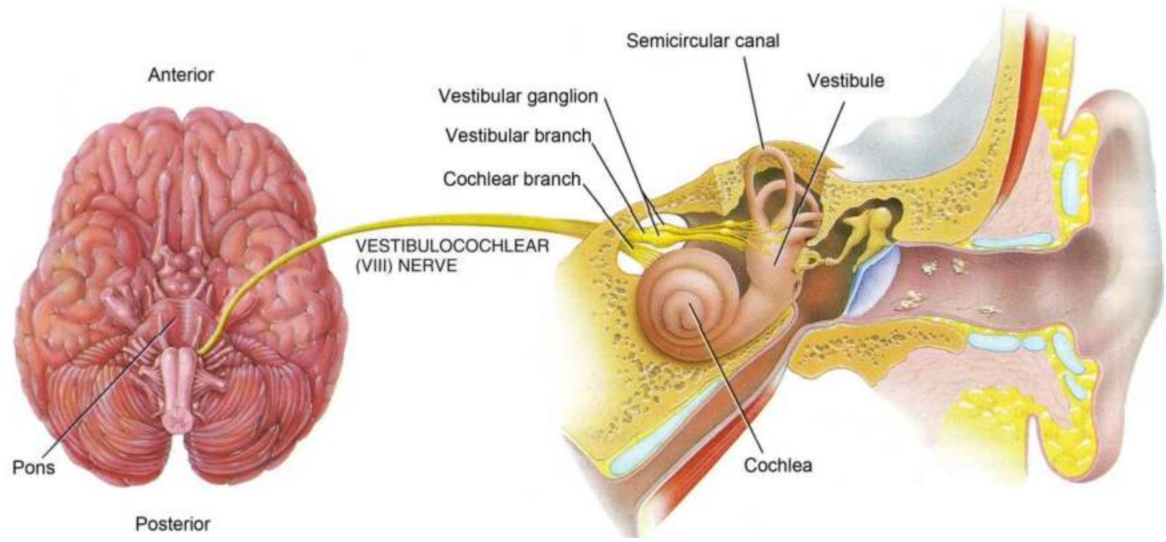



รูปที่ 13-36 เส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 Facial nerve

**8) Vestibulo-cochlea nerve (CN VIII)** เส้นประสาทนี้ ประกอบด้วยเส้นประสาท 2 เส้น คือ

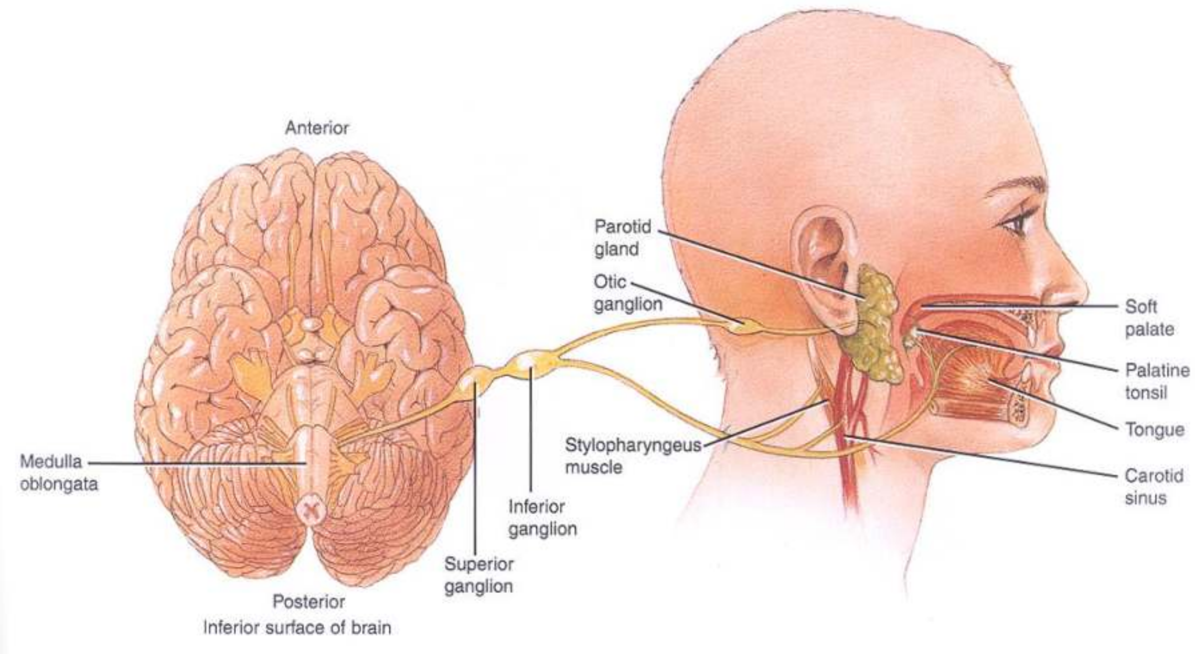
=> **Vestibular nerve** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการทรงตัว

=> **Cochlea nerve (auditory nerve)** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการได้ยินเสียง



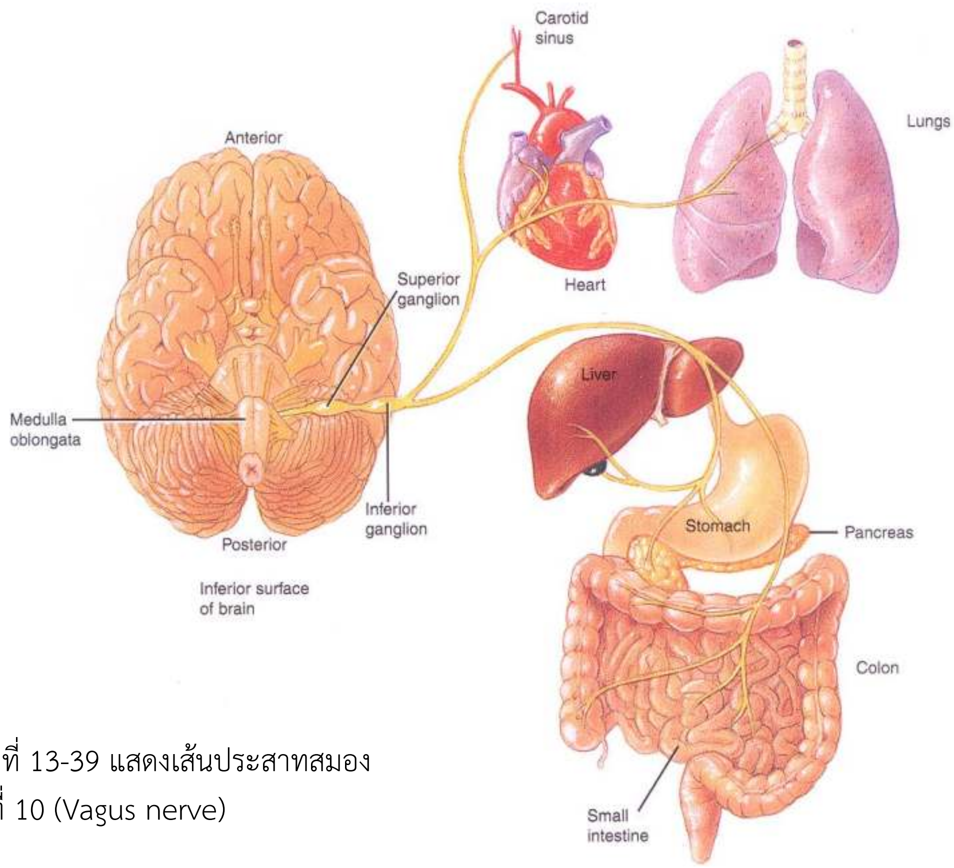

รูปที่ 13-37 เส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 Vestibulo-cochlea nerve

**9) Glossopharyngeal nerve (CN IX)** ทำหน้าที่รับความรู้สึกส่วนหลังของลิ้นและคอหอย ควบคุมการทำงานของของกล้ามเนื้อคอหอย



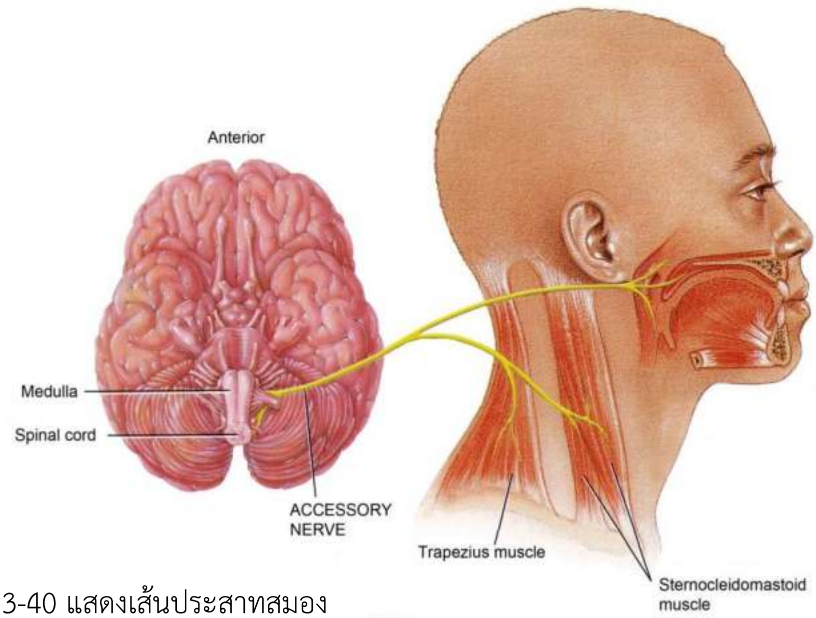

รูปที่ 13-38 เส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 Glossopharyngeal nerve

**10) Vagus nerve (CN X)** ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อระบบทางเดินหายใจ ระบบหายใจ กล้ามเนื้อหัวใจ ร่วมกับระบบประสาทซิมพาเธติก



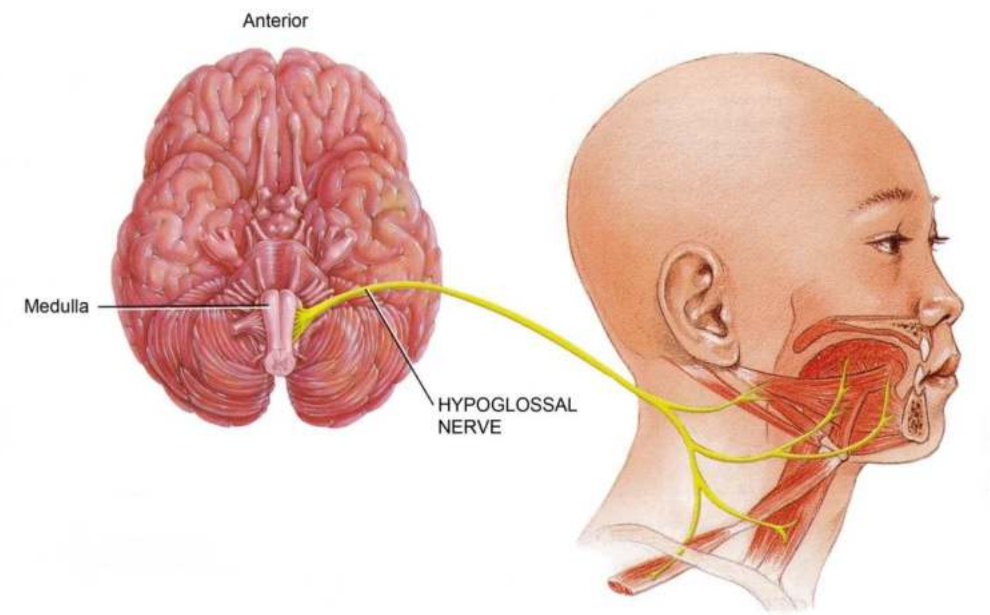

รูปที่ 13-39 แสดงเส้นประสาทสมอง
คู่ที่ 10 (Vagus nerve)

**11) Accessory nerve (CN XI)** ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ sternocleidomastoid ที่เกี่ยวกับการหันหน้าไปซ้าย ขวา และกล้ามเนื้อ Trapezius ที่ช่วยในการยกไหล่




รูปที่ 13-40 แสดงเส้นประสาทสมอง
คู่ที่ 11 Accessory nerve

**12) Hypoglossal nerve (CN XII)** เส้นประสาทสมองคู่นี้ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อลิ้น




รูปที่ 13-41 แสดงเส้นประสาทสมองคู่ที่ 12 Hypoglossal nerve

## 3.2 เส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerve)

เส้นประสาทไขสันหลังเกิดจากการรวมตัวของ dorsal และ ventral nerve root เป็นเส้นประสาทที่แยกออกจากไขสันหลัง 31 คู่ เพื่อทำหน้าที่รับความรู้สึกและสั่งการไปยังหน่วยปฏิบัติงาน (effectors) เช่น กล้ามเนื้อหรือต่อมต่างๆ เส้นประสาทไขสันหลังแต่ละเส้นจะมีบริเวณของผิวหนังที่เส้นประสาทนี้เลี้ยงโดยเฉพาะ เรียกบริเวณของผิวหนังที่เลี้ยงโดยเส้นประสาทไขสันหลัง 1 เส้น ว่า **Dermatome**

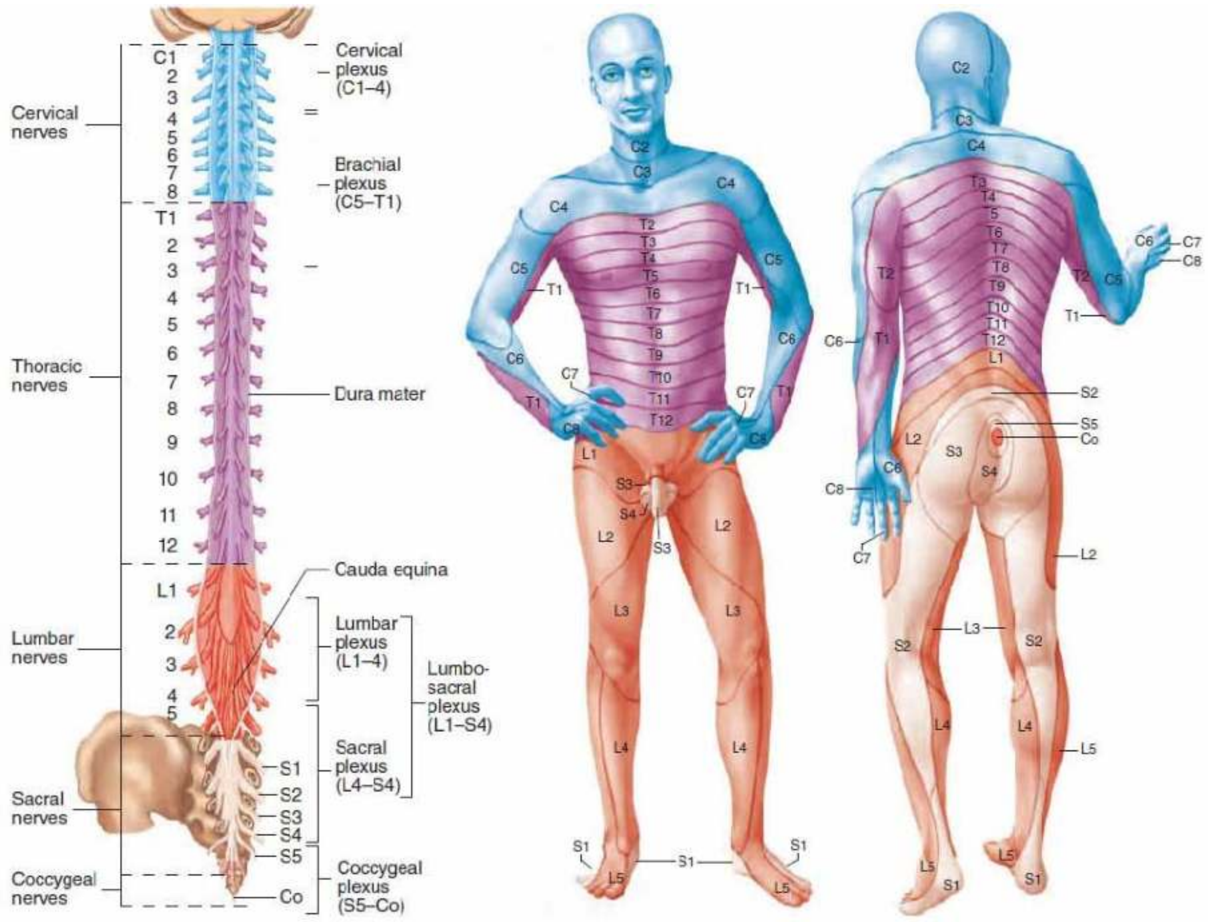
เส้นประสาทไขสันหลัง มีทั้งหมด 31 คู่ แบ่งเป็น

=> ระดับคอ (Cervical spinal nerve) 8 คู่
=> ระดับอก (Thoracic spinal nerve) 12 คู่
=> ระดับเอว (Lumbal spinal nerve) 5 คู่
=> ระดับกระเบนเหน็บ (Sacral spinal nerve) 5 คู่
=> ระดับก้นกบ (Coccygeal spinal nerve) 1 คู่

เส้นประสาทไขสันหลังระดับคอ ระดับคอที่ 1 ถึง 4 จะรวมกันเป็นร่างแหประสาท เรียกว่า cervical plexus ไปเลี้ยงผิวหนังบริเวณคอและไหล่ รวมทั้งกล้ามเนื้อคอด้วย มีแขนงที่สำคัญ ชื่อ **phrenic nerve** ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยเส้นใยประสาทจากเส้นประสาทไขสันหลังระดับคอ ระดับที่ 4 ไปควบคุมกล้ามเนื้อกระบังลม ซึ่งมีความสำคัญในการหายใจ ถ้าเส้นประสาทไขสันหลังระดับ C4 ถูกทำลาย จะทำให้ผู้ป่วยหยุดหายใจ

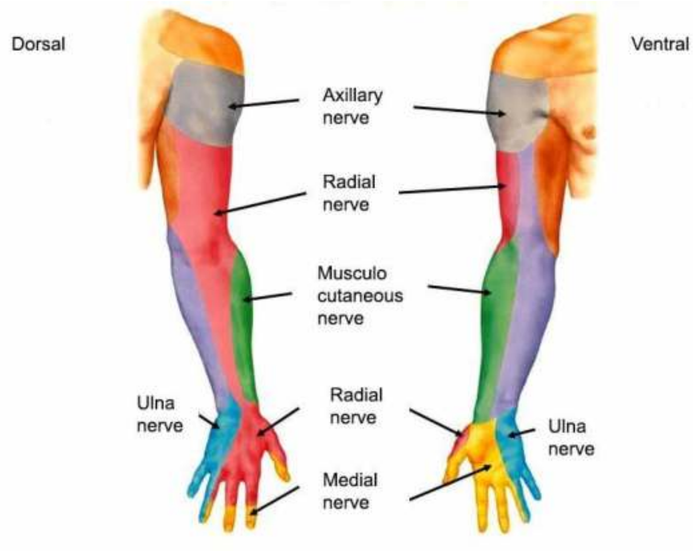
เส้นประสาทไขสันหลังระดับ C5- T1 จะรวมกันเป็น **Brachial plexus** แล้วแตกแขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและผิวหนังของแขนและมือ เส้นประสาทสำคัญๆ ได้แก่

**1. Median nerve** เส้นประสาทนี้ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อปลายแขนด้านหน้า กล้ามเนื้อฝ่ามือด้านนิ้วหัวแม่มือ และเลี้ยงผิวหนังของนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลาง เส้นประสาทเส้นนี้ถูกกดจะทำให้เกิดอาการชาบริเวณทั้ง 3 นิ้วนั้น




รูปที่ 13-42 แสดงเส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerve) และบริเวณของผิวหนังที่เลี้ยงโดยเส้นประสาทไขสันหลัง

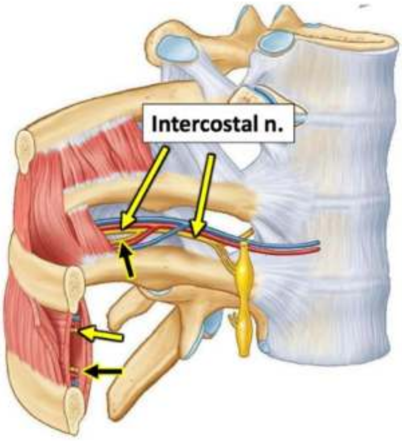
**2. Radial nerve** เส้นประสาทนี้ให้แขนงไปเลี้ยง กล้ามเนื้อต้นแขนด้านหลังและกล้ามเนื้อปลายแขนด้านหลัง คือ extensor muscle ด้านนิ้วหัวแม่มือ และผิวหนังด้านนอกของต้นแขนและปลายแขน เส้นประสาทนี้ถ้าถูกกดหรือถูกตัด จะทำให้ข้อมือตก




รูปที่ 13-43 แสดงเส้นประสาท Median nerve, Radial nerve, Ulna nerve และบริเวณที่ไปเลี้ยง

**3. Ulna nerve** เส้นประสาทนี้ไปเลี้ยงให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อของนิ้วก้อยและกล้ามเนื้อมัดเล็กๆ ของฝ่ามือ ถ้าเส้นประสาทเสีย จะทำให้นิ้วมืองอ

เส้นประสาทระดับอก จะให้แขนงไปตามช่องซี่โครง เรียกว่า **intercostal nerve** ทำหน้าที่รับความรู้สึกและควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครง




รูปที่ 13-44 แสดงเส้นประสาท intercostal nerve

เส้นประสาทไขสันหลังระดับ L4 L5 และ S1 ถึง S3 จะรวมกันเป็น **sacral plexus** ไปเลี้ยงสะโพกและขา โดยมีเส้นประสาทใหญ่นี้ออกมาชื่อว่า sciatic nerve เส้นประสาทนี้จะให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อด้านหลังของต้นขา และพบถึงระดับข้อพับหลังเข่าจะแตกเป็น 2 แขนง ชื่อ common peroneal nerve และ tibial nerve โดย common peroneal nerve จะให้แขนง ชื่อ superficial peroneal nerve เลี้ยงกล้ามเนื้อด้านข้างของปลายขา และอีกแขนงชื่อ deep peroneal nerve ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อกล้ามเนื้อปลายขาด้านหน้า สำหรับ tibial nerve จะให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อน่อง

เส้นประสาทไขสันหลังระดับ T12 ถึง L3 จะรวมกันเป็น **lumbar plexus** ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและรับความรู้สึกจากส่วนล่างของหน้าท้อง ด้านหน้าและด้านในของต้นขา ทางด้านหน้าของต้นขาจะมีเส้นประสาทชื่อ femoral nerve เลี้ยงกล้ามเนื้อต้นขาทางด้านหน้า คือ quadriceps femoris muscle

************************************

## แผนการสอน

## วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์

## (Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)

---------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาทอัตโนมัติ
(Anatomy and Physiology of Autonomic nervous system)

**จำนวนชั่วโมง** 2 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาทอัตโนมัติ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. นิยามคำว่าระบบประสาทอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง
2. บอกชื่อเนื้อเยื่อที่ถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง
3. บอกชนิดของระบบประสาทอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง
4. เปรียบเทียบความแตกต่างของระบบประสาทอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายกายวิภาคระบบประสาทพาราซิมพาเทติกได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายกายวิภาคระบบประสาทซิมพาเทติกได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายสารสื่อประสาทแอซิติลโคลีนและตัวรับได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายสารสื่อประสาทนอร์เอพิเนฟฟรินและตัวรับได้อย่างถูกต้อง
9. อธิบายสารสื่อประสาทเอพิเนฟฟรินและตัวรับได้อย่างถูกต้อง
10. อธิบายผลทางสรีรวิทยาของอวัยวะต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 14

*************************************

# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาทอัตโนมัติ
# (Anatomy and Physiology of Autonomic nervous system)

**ตอนที่ 1 โครงสร้างระบบประสาทอัตโนมัติ**

1.1 ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

1.2 ระบบประสาทซิมพาเทติก

**ตอนที่ 2 สารสื่อประสาทและตัวรับระบบประสาทอัตโนมัติ**

2.1 แอซิติลโคลีน

2.2 นอร์เอพิเนฟฟริน

2.3 เอพิเนฟฟริน

**ตอนที่ 3 ผลทางสรีรวิทยาของอวัยวะต่าง ๆ**

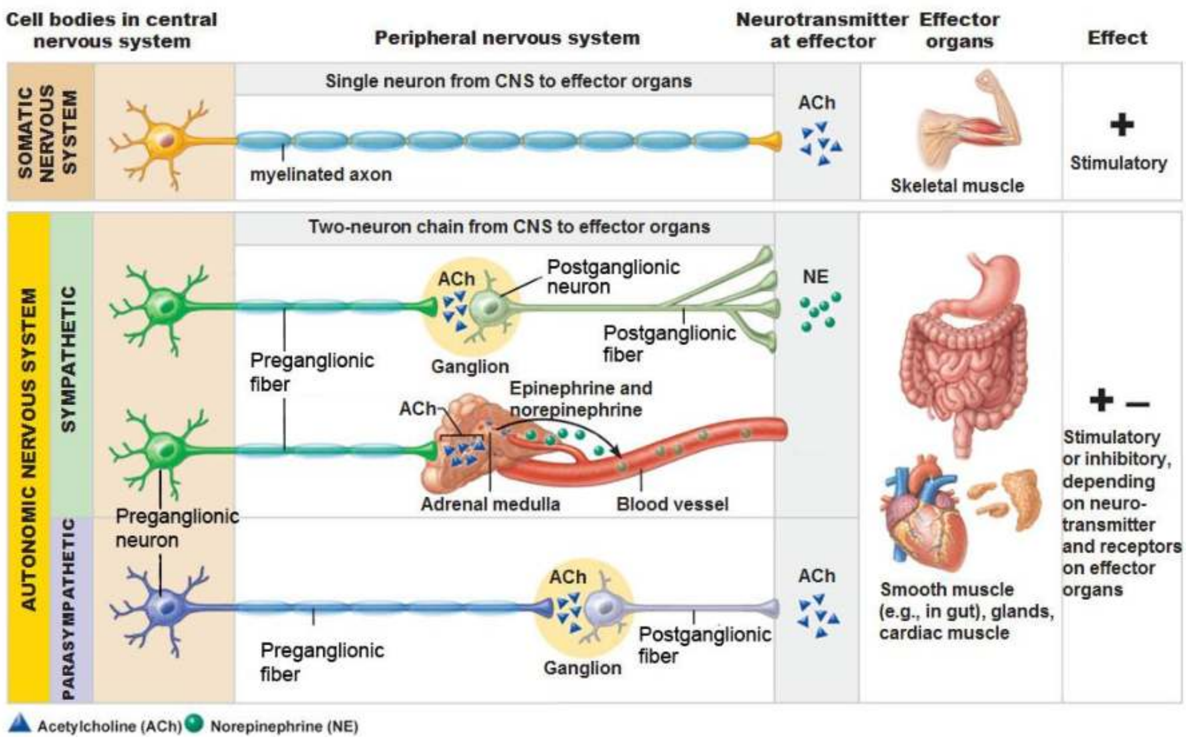
# บทที่ 14
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาทอัตโนมัติ
# (Anatomy and Physiology of Autonomic Nervous system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. (สรีรวิทยา)

ระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system หรือ ANS) เป็นส่วนหนึ่งของระบบประสาทส่วนปลาย อยู่**นอกอำนาจจิตใจ (involuntary)** ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกาย ให้อยู่ใน**สภาวะคงที่ (homeostasis)** โดยการควบคุมสมดุลของสิ่งแวดล้อมภายในร่างกาย ให้มีความเหมาะสมกับพฤติกรรมของร่างกายในขณะนั้นๆ การควบคุมแบบอัตโนมัตินี้เป็นการคานดุลกันของชุดควบคุม 2 ชุด ชุดแรกคือระบบประสาท parasympathetic อีกชุด คือระบบประสาท sympathetic ระบบประสาท parasympathetic ทำให้ให้ร่างกายอยู่ในสภาวะของการพักผ่อน ในขณะที่ระบบประสาท sympathetic จะเตรียมร่างกายให้พร้อมรับสถานการณ์วิกฤติ สามารถรับมือโดยการสู้หรือหนี

เนื้อเยื่อที่ถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ ได้แก่

1. **กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle)** เช่น กระเพาะอาหาร ลำไส้ กล้ามเนื้อม่านตา มดลูก ม่านตา
2. **กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)** รวมทั้งเซลล์กำเนิดคลื่นไฟฟ้าหัวใจและเนื้อเยื่อนำคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
3. **ต่อมมีท่อชนิดต่างๆ (exocrine gland)** เช่น ต่อมเหงื่อ ต่อมน้ำลาย ต่อมผลิตน้ำตา ต่อมผลิตน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหาร ยกเว้นต่อมไขมันที่ผิวหนัง
4. **ต่อมไร้ท่อ (endocrine gland)** บางตำแหน่ง เช่น ต่อมหมวกไตชั้นใน

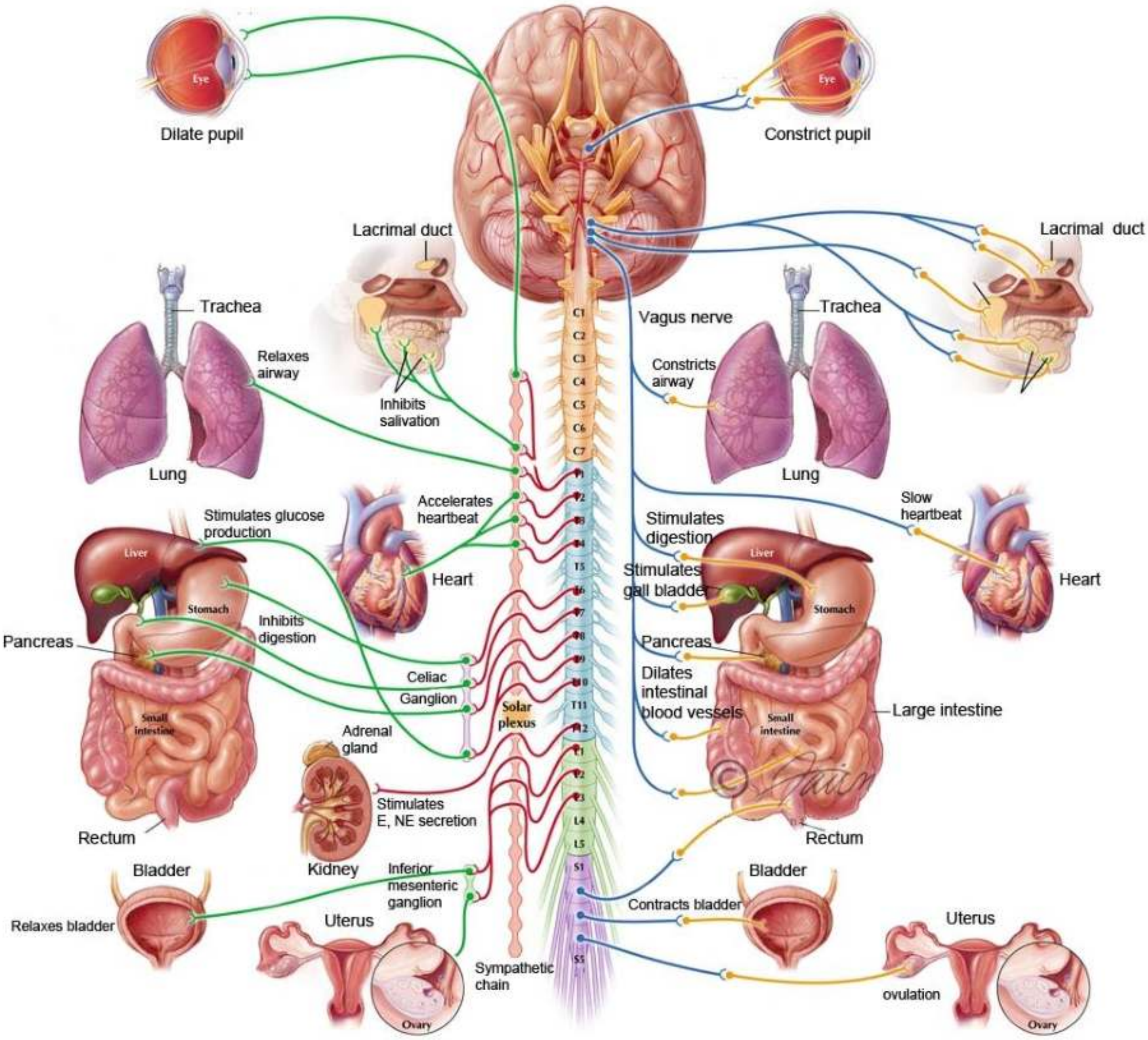



รูปที่ 14-1 แสดงความแตกต่างระหว่าง somatic nervous system และ autonomic nervous system

# ตอนที่ 1
# โครงสร้างระบบประสาทอัตโนมัติ

ระบบประสาทอัตโนมัติประกอบด้วยเซลล์ประสาทสั่งการเชื่อมกัน 2 กลุ่ม กลุ่มแรกอยู่ในสมองและไขสันหลัง กลุ่มที่สองอยู่ในปมประสาท เรียกว่า **ganglia** เซลล์ประสาทลำดับแรก เรียกว่า **preganglionic neuron** มีเส้นใยประสาทออกจากตัวเซลล์ เรียกว่า **preganglionic fiber** เส้นใยประสาทเหล่านี้จะส่งกระแสประสาทไปยังเซลล์ประสาทลำดับที่ 2 ที่อยู่ในปมประสาท เรียกเซลล์ประสาทลำดับที่ 2 ว่า **postganglionic neuron** และเรียกเส้นใยประสาทที่ออกจากเซลล์ไปยังอวัยวะเป้าหมาย เรียกว่า **postganglionic fiber**

ระบบประสาทอัตโนมัติ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ **ระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic nervous system)** และ**ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (parasympathetic nervous system)** มีลักษณะทำงานเป็นแบบการคานดุลกัน เพื่อจะปรับสมดุลของอวัยวะภายใน ในขณะนั้นๆ เช่น ระบบประสาทซิมพาเทติก กระตุ้นให้หัวใจบีบตัวเร็วและแรงขึ้น ในขณะที่ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก จะมีผลทำให้หัวใจเต้นช้าลง เป็นต้น




รูปที่ 14-2 แสดงระบบประสาทซิมพาเทติก (ซ้าย) และ ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (ขวา)

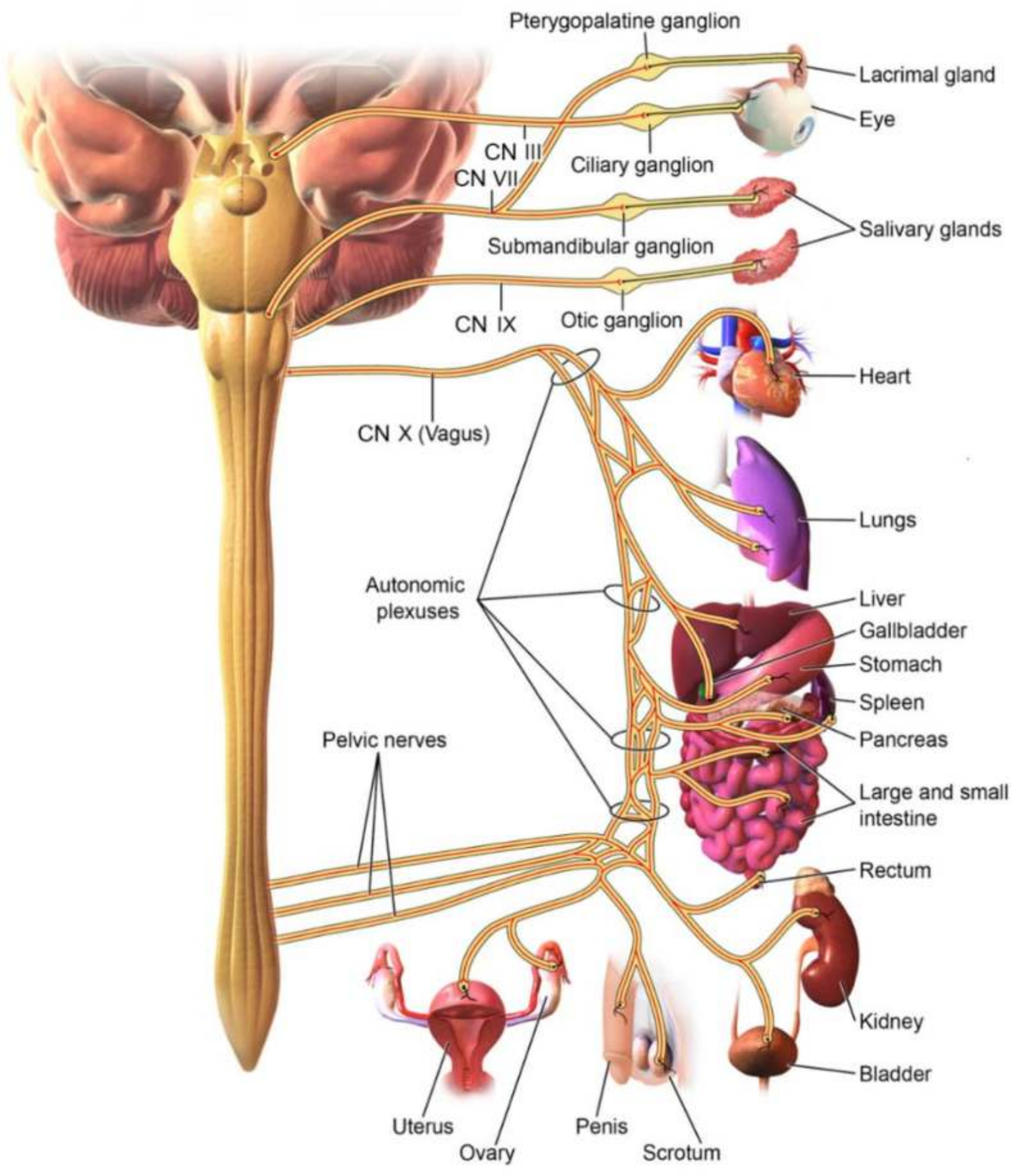
## 1.1 ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic nervous system)

preganglionic neuron ของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกอยู่ในก้านสมอง (brain stem) ส่งสัญญาณประสาทเป็น **cranial outflow** และไขสันหลังส่วนสะโพก (sacral spinal cord) ส่งสัญญาณประสาทเป็น **sacral outflow** ไปไซแนปส์กับ postganglionic neuron ที่อยู่ในปมประสาทที่อยู่ใกล้หรืออยู่ในอวัยวะเป้าหมาย

**=> Cranial outflow :** preganglionic neuron จะส่ง parasympathetic outflow ไปกับเส้นประสาทสมอง**คู่ที่ 3** (oculomotor nerve) **คู่ที่ 7** (facial nerve) **คู่ที่ 9** (glossopharyngeal nerve) **คู่ที่10** (vagus nerve)

**=> Sacral outflow :** preganglionic fiber มาจากเซลล์ประสาทของไขสันหลังส่วนสะโพก ระดับ S2-S4 รวมกันเป็น pelvic nerve ไปเลี้ยงอวัยวะภายในช่องเชิงกราน

การที่ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก มี preganglionic neuron ที่สมองส่วนก้านสมองและไขสันหลัง จึงเรียกว่า **craniosacral division**




รูปที่ 14-3 แสดงเซลล์ประสาท เส้นประสาท และปมประสาท ของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

**ตารางที่ 14-1 แสดง Parasympathetic division**

| เส้นประสาท | จุดเริ่มของ preganglionic fibers | ตำแหน่งของ terminal ganglia | อวัยวะเป้าหมาย |
|---|---|---|---|
| Oculomotor nerve (CN III) | midbrain | ciliary ganglion | ตา (กล้ามเนื้อเรียบใน iris และ ciliary body) |
| Facial nerve (CN VII) | pons | pterygopalatine ganglion และ submandibular ganglion | ต่อมน้ำตา, ต่อมน้ำลาย |
| Glossopharygeal nerve (CN IX) | medulla | otic ganglion | ต่อมน้ำลาย parotid gland |
| Vagus nerve (CN X) | medulla | อยู่ในหรือใกล้อวัยวะ | หัวใจ ปอด ทางเดินอาหาร ตับ ตับอ่อน |
| Pelvic spinal nerve | S2-S4 | อยู่ในหรือใกล้อวัยวะ | ครึ่งล่างของลำไส้ใหญ่ เรคตั้ม กระเพาะปัสสาวะ และอวัยวะในระบบสืบพันธุ์ |

## 1.2 ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nervous system)

ระบบประสาทซิมพาเทติก มีเซลล์ประสาทลำดับแรกอยู่ที่ไขสันหลัง ตั้งแต่กระดูกสันหลังส่วนอกอันที่ 1 (T1) ถึงกระดูกสันหลังส่วนเอวอันที่ 3-4 (L3-4) ซึ่งจะมี preganglionic nerve fiber ออกมาทาง ventral root ของไขสันหลัง แล้วจึงแยกออกมาผ่าน white ramus communicans เข้าสู่เซลล์ประสาทลำดับที่สองที่อยู่ในปมประสาทซิมพาเทติก (sympathetic ganglia) ซึ่งมีลักษณะเรียงต่อกันเป็นสายอยู่ข้างกระดูกสันหลัง ยาวตั้งแต่กระดูกสันหลังส่วนคอจนถึงกระดูกก้นกบ เรียกสายของปมประสาทนี้ว่า sympathetic chain หรือ sympathetic trunk

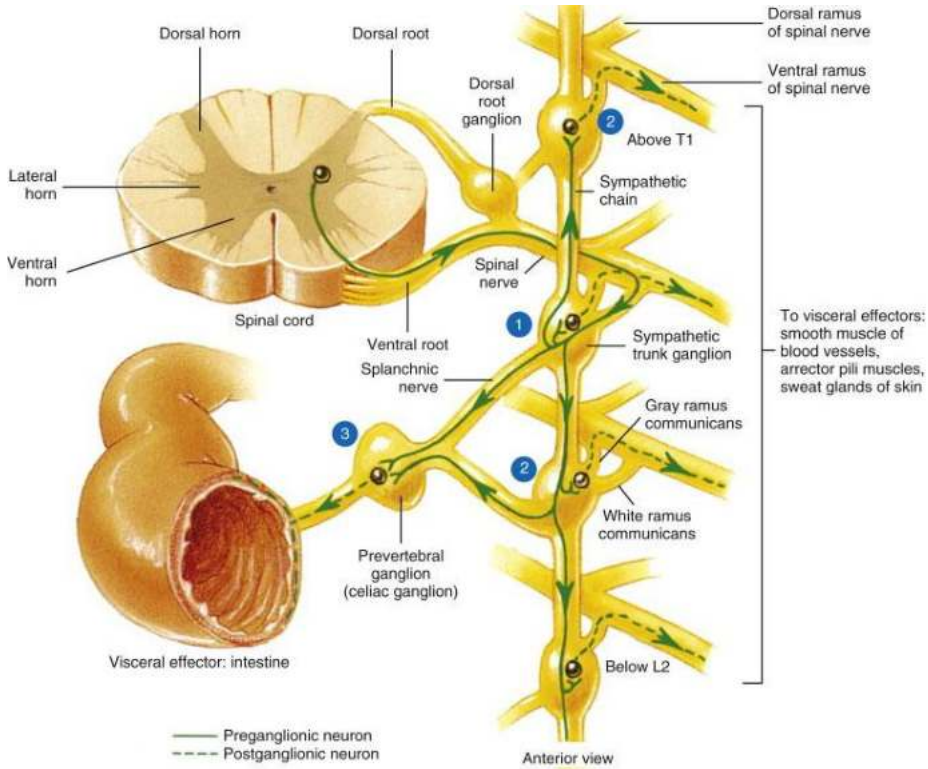
เมื่อ preganglionic nerve fiber ผ่านเข้าสู่ sympathetic trunk แล้ว วิถีประสาทจะแบ่งได้เป็น 3 ทาง

1) ผ่านขึ้น หรือลง ไปตาม sympathetic trunk แล้วประสานกับเซลล์ประสาทในปมประสาท ในระดับที่สูงหรือต่ำกว่าระดับเริ่มต้น จากนั้นให้ postganglionic nerve fiber กลับเข้าสู่เส้นประสาทไขสันหลังทาง gray ramus communicans เพื่อไปควบคุมอวัยวะตอบสนอง

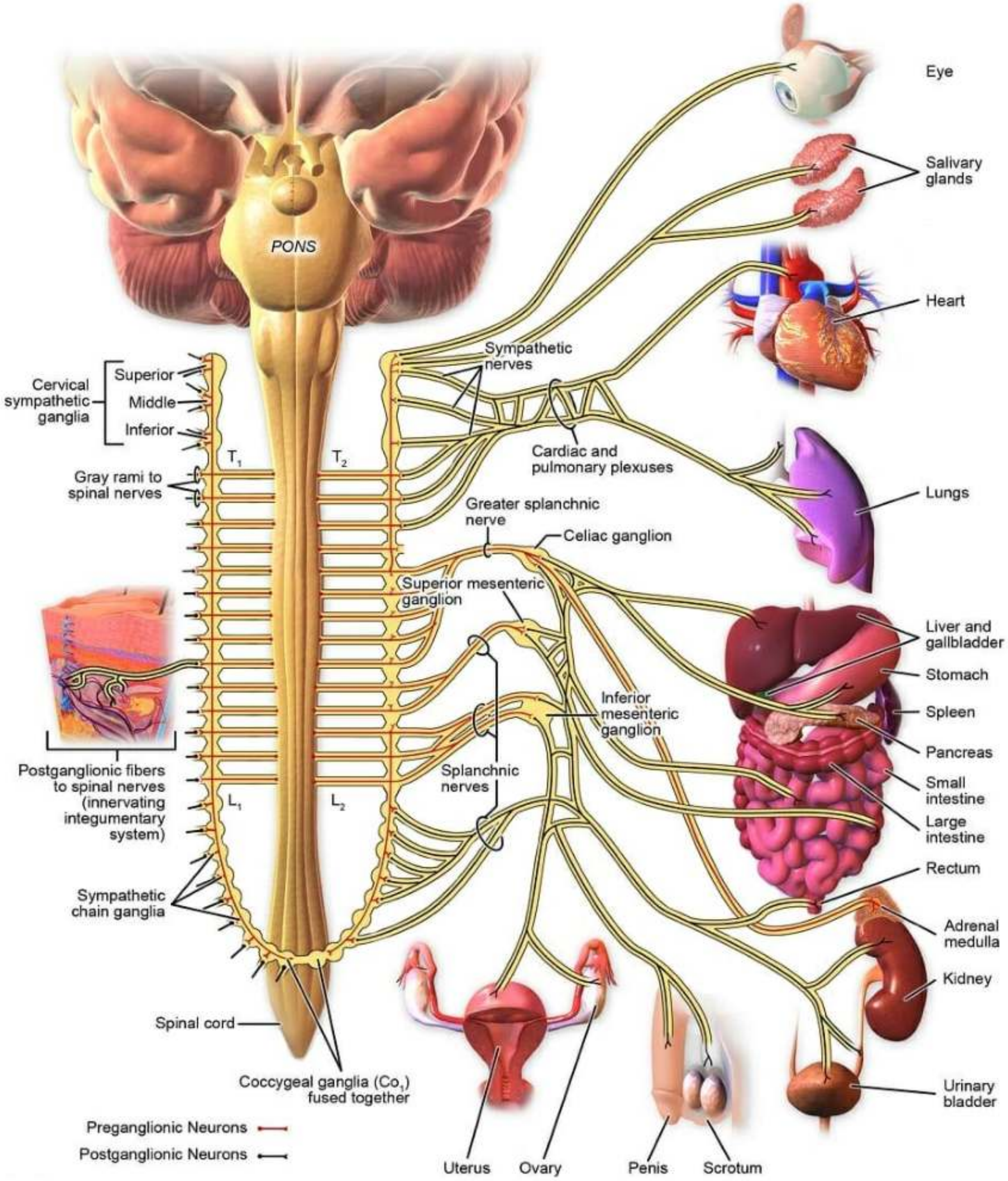
2) ผ่านเลยออกไปเข้าสู่เส้นประสาทที่ไป prevertebral ganglia ได้แก่ celiac ganglion, superior mesenteric ganglion และ Inferior mesenteric ganglion ซึ่งอยู่ด้านหน้าของกระดูกสันหลัง แล้วประสานประสาทกับเซลล์ประสานในปมประสาทนี้ ให้ postganglionic nerve fiber ไปควบคุมอวัยวะภายในช่องท้อง ช่องเชิงกราน

3) ผ่านเลยออกไปประสานโดยตรงกับเซลล์ chromaffin ในต่อมหมวกไตชั้นใน

พบว่า preganglionic neuron 1 ตัว จะเชื่อมต่อกับ postganglionic neuron จำนวน 63-196 ตัว และการมี nerve fiber ที่ยาว แตกแขนงและการกระจายกว้างขวางมากในร่างกายเมื่อเทียบกับระบบประสาทพาราซิมพาเทติก




รูปที่ 14-4 แสดงวิถีประสาทของระบบประสาทซิมพาเทติกที่ออกจากไขสันหลัง




รูปที่ 14-5 แสดงเซลล์ประสาทลำดับแรก เส้นประสาท ปมประสาทของระบบประสาทซิมพาเทติก

**ตารางที่ 14-2 แสดง Sympathetic division**

| จุดเริ่มในไขสันหลังของ preganglionic fiber | จุดเริ่มของ postganglionic fiber | อวัยวะที่ไปเลี้ยง |
|---|---|---|
| C8, T1 | cervical ganglion | ตา |
| T1-T4 | cervical ganglion | ศีรษะ และคอ |
| T1-T5 | upper thoracic (paravertebral) ganglion | ศีรษะ และปอด |

| | | |
|---|---|---|
| T2-T9 | lower cervical ganglion และ upper thoracic (paravertebral) ganglion | แขน |
| T4-T9 | celiac ganglion และ superior mesenteric (collateral) ganglion | อวัยวะภายในช่องท้อง ส่วนบน |
| T10, T11 | | ต่อมหมวกไต |
| T12-L2 | celiac ganglion และ inferior mesenteric (collateral) ganglion | ระบบปัสสาวะ และระบบสืบพันธุ์ |
| T9, L2 | lumbar ganglion และ upper sacral (paravertebral) ganglion | ขา |

## Enteric nervous system

enteric nervous system อยู่ในผนังทางเดินอาหาร (gastrointestinal tract) ประกอบด้วย

**1) myenteric plexus (Auerbach's plexus)** อยู่ระหว่าง longitudinal muscle และ circular muscle ของลำไส้

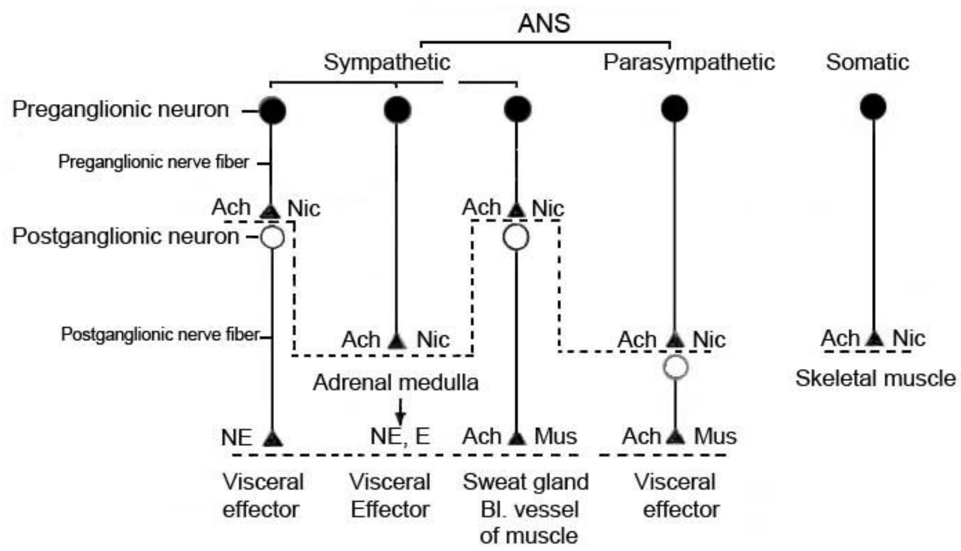
**2) submucosal plexus (Meissner's plexus)** ซึ่งอยู่ในชั้น submucosal ของลำไส้ เซลล์ประสาทของ myenteric plexus มีหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของทางเดินอาหาร ในขณะที่ submucosal plexus มีหน้าที่ควบคุมการขนส่งของไอออนและน้ำ ผ่าน intestinal epithelium และการหลั่งสารจากต่อมในทางเดินอาหาร

นอกจาก enteric nervous system สามารถทำงานได้เองแล้ว ยังถูกควบคุมจาก sympathetic fiber และ parasympathetic fiber ที่มายัง myenteric plexus และ submucosal plexus โดยที่ parasympathetic system จะกระตุ้นการทำงานของระบบทางเดินอาหาร ในขณะที่ sympathetic system ยับยั้งการทำงานของระบบทางเดินอาหาร

************************************

## ตอนที่ 2
## สารสื่อประสาทและตัวรับระบบประสาทอัตโนมัติ

สารสื่อประสาทในระบบประสาทอัตโนมัติมี 2 ชนิด ได้แก่ **แอซิติลโคลีน (acetylcholine)** และ**นอร์เอพิเนฟริน (norepinephrine หรือ noradrenaline)** เส้นใยประสาทที่หลั่งแอซิติลโคลีน เรียกว่า **เส้นใยโคลิเนอร์จิก (cholinergic fiber)** ส่วนเส้นใยประสาทที่หลั่งนอร์เอพิเนฟรินเรียกว่า **เส้นใยอะดรีเนอร์จิก (adrenergic fiber)** ทั้งระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติกมี preganglionic fiber ชนิดโคลิเนอร์จิก แต่ postganglionic fiber ของระบบประสาท ทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกัน คือ postganglionic fiber ของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกเป็นเส้นใยโคลิเนอร์จิก ส่วนใหญ่ของระบบประสาทซิมพาเทติกเป็นเส้นใยอะดรีเนอร์จิก มียกเว้นบางส่วนเป็น sympathetic cholinergic fiber ซึ่งไปยังต่อมเหงื่อ กล้ามเนื้อขนลุกของเส้นผม และเส้นเลือดในกล้ามเนื้อลาย (รูปที่ 14-6)




รูปที่ 14-6 แสดงการหลั่งสารสื่อประสาทของประสาทอัตโนมัติ

### 2.1 แอซิติลโคลีน (Acetylcholine, Ach)

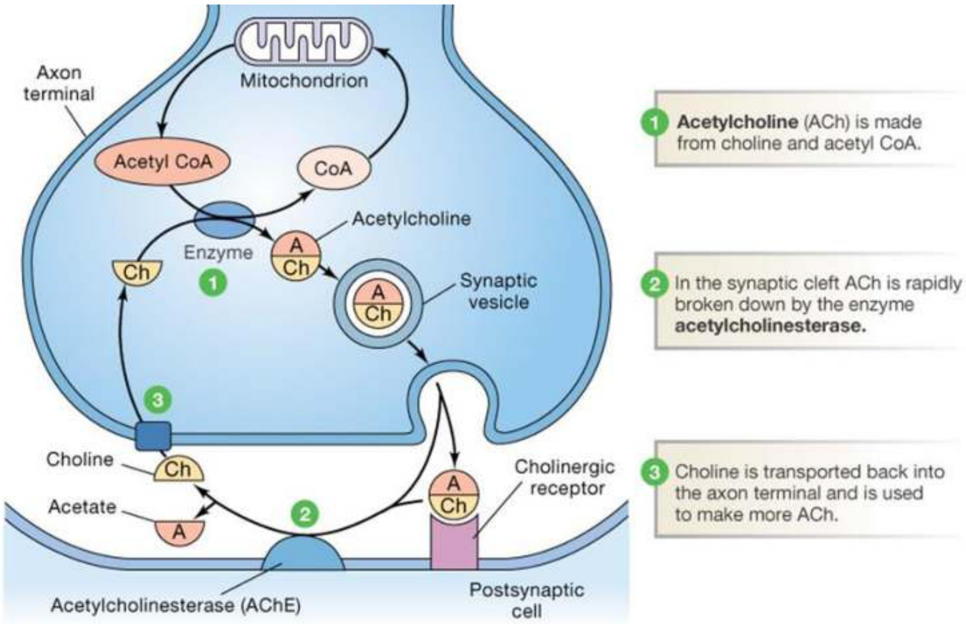
เป็นสารสื่อประสาทของปลายประสาท preganglionic fiber ที่ส่งเข้าปมประสาทของทั้งระบบซิมพาเทติกและประสาทพาราซิมพาเทติก และพบที่ปลายประสาทของ postganglionic ของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกและที่ postganglionic ของระบบระบบซิมพาเทติกบางตัว เช่น ที่ไปต่อมเหงื่อ และหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อลาย

การสังเคราะห์แอซิติลโคลีน เริ่มจากปลายประสาทจะดูดซึมโคลีนเข้าสู่ไซโตพลามซึม โคลีนจะรวมกับกลุ่ม acetyl จาก acetyl CoA โดยเอ็นไซม์ choline acetyltransferase ได้เป็นแอซิติลโคลีน เก็บสะสมไว้ในถุง เมื่อมีคลื่นประสาทวิ่งมาถึง ปลายประสาทจะเปิดช่องให้ช่องแคลเซียมเข้ามาในปลายประสาท เพื่อช่วยดึงถุงให้มาสัมผัสเยื่อหุ้มเซลล์ แล้วหลั่งแอซิติลโคลีน ผ่านช่องว่างซินแนปส์ ไปกระทำต่อตัวรับที่ เรียกว่า **cholinergic receptor** ที่เซลล์ถัดไป เมื่อทำงานเสร็จจะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว โดยแอซิติลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholinesterase) ที่อยู่ตามผิวเยื่อหุ้มเซลล์ให้กลายเป็นโคลีน และกรดอะเซติก นอกจากนี้โคลีนส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมกลับที่ปลายประสาทเพื่อสังเคราะห์แอซิติลโคลีนใหม่

แอซิติลโคลีนมีคุณสมบัติเป็นทั้งแบบกระตุ้นและแบบยับยั้งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวรับ cholinergic receptor ซึ่งมี 2 ชนิด ได้แก่

**1) Nicotinic receptor (Nn receptor)** มีตำแหน่งอยู่ที่รอยต่อของปลายประสาทและกล้ามเนื้อลาย เมื่อ Ach จับกับตัวรับ Nicotinic receptor แล้ว จะเปิดช่องทางโซเดียม ($Na^+$ channel) แล้วทำให้เกิดโซเดียมเข้ามาในเซลล์ ($Na^+$ influx) ทำให้เกิด depolarization ใน postganglionic cells ตามมา ดังนั้นจึงมีผลกระตุ้นการทำงานเสมอ

**2) Muscarinic receptor (Nm receptor)** ปัจจุบันมีข้อมูลว่ามีตัวรับอย่างน้อย 5 แบบ ได้แก่ M1, M2, M3, M4 และ M5 receptor พบที่อวัยวะภายในต่างๆ เช่น กล้ามเนื้อหัวใจ ทางเดินอาหาร ทางเดินปัสสาวะ ม่านตา ฯลฯ การทำงานอาจเป็นการกระตุ้น เช่น เพิ่มการเคลื่อนไหวของทางเดินอาหาร เพิ่มการหลั่งน้ำย่อย (ผ่านตัวรับ M1) หรืออาจไปยับยั้ง เช่น ทำให้หัวใจเต้นช้าลง (ผ่านตัวรับ M2)




รูปที่ 14-7 แสดงการสังเคราะห์สารสื่อประสาท Acetylcholine

### 2.2 นอร์เอพิเนฟฟริน (Norepinephrine, NE)

ถูกสังเคราะห์โดยปลายประสาท postganglionic fiber ของประสาทซิมพาเทติก จากกรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) โดยเอ็นไซม์ไทโรซีนไฮดรอกซีเลส (tyrosine hydroxylase) ให้กลายเป็นแอลโดปา (L-DOPA) ซึ่งจะถูกเอ็นไซม์ dopa-decarboxylase แปลงเป็นโดปามีน (dopamine) แล้วถูก dopamine beta-oxydase แปลงให้เป็น NE

ผลของนอร์เอพิเนฟฟรินต่อเซลล์ของอวัยวะต่างๆ จะผ่านตัวรับ adrenergic receptor ซึ่งมักจะให้ผลในทางตรงข้ามกับประสาทพาราซิมพาเทติก เช่น ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น เนื้อเยื่อแต่ละชนิดอาจถูกกระตุ้นหรือยับยั้งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวรับบนเนื้อเยื่อนั้น ได้แก่ ตัวรับแอลฟ่า (alpha, $\alpha$ receptor) และตัวรับเบต้า (beta, $\beta$ receptor) ดังนี้

**1) อวัยวะที่มีแอลฟ่ารีเซปเตอร์** มักถูกกระตุ้นโดยนอร์เอพิเนฟฟริน ยกเว้นทางเดินอาหาร เช่น หลอดเลือดที่ผิวหนังมีแอลฟ่ารีเซปเตอร์มาก มักถูกกระตุ้นโดยนอร์เอพิเนฟฟริน ทำให้หลอดเลือดหดตัว ส่วนที่ลำไส้ นอร์เอพิเนฟฟริน มักไปลดความถี่และความแรงในการบีบตัว ตัวรับแอลฟ่ารีเซปเตอร์ มี 2 กลุ่ม ได้แก่

=> **แอลฟ่า 1** ($\alpha_1$) มักพบอยู่ในอวัยวะภายในทั่วไป

=> **แอลฟ่า 2** ($\alpha_2$) มักพบอยู่บนปลายประสาทด้าน presynaptic ของประสาทซิมพาเทติก

**2) อวัยวะที่มีเบต้ารีเซปเตอร์** มักถูกยับยั้งโดยนอร์เอพิเนฟฟริน (ส่วนใหญ่เป็นเบต้า 2) ยกเว้นที่หัวใจ (ส่วนใหญ่เป็นเบต้า 1) เช่น กล้ามเนื้อเรียบของหลอดลมจะถูกทำให้ขยายตัว แต่ที่หัวใจจะเกิดการกระตุ้นทำให้คลื่นไฟฟ้าใน SA node ถี่ขึ้น และความเร็วของคลื่นไฟฟ้าที่วิ่งผ่านเนื้อเยื่อนำคลื่นไฟฟ้าเร็วขึ้น จึงทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเร็วขึ้น เบต้ารีเซปเตอร์ มี 3 ชนิด ได้แก่

=> **เบต้า 1** ($\beta_1$) พบมากที่หัวใจ ลำไส้ และ JG apparatus ของไตที่ทำหน้าที่หลั่งเรนิน

=> **เบต้า 2** ($\beta_2$)พบมากที่หลอดลม หลอดเลือด เมื่อได้รับนอร์เอพิเนฟฟริน มักเกิดการคลายตัว

=> **เบต้า 3** ($\beta_3$) พบมากที่เนื้อเยื่อไขมัน เมื่อได้รับนอร์เอพิเนฟฟริน จะเกิดการย่อยสลายไขมัน ได้เป็นกรดไขมันและไทรกลีเซอร์ไรด์ เข้าสู่กระแสเลือด e

**2.3 เอพิเนฟฟริน (Epinephrine, E)**

โครแมฟฟินเซลล์ (chromaffin cells) ของหมวกไตชั้นใน มีเอ็นไซม์ เฟนิล เอททะโนลามีน เอน เมททิล ทรานเฟอเรส (Phenylethanolamine N-methyltransferase, PNMT) ทำหน้าที่เปลี่ยนเป็น นอร์เอพิเนฟฟริน (norepinephrine, NE) เป็นเอพิเนฟฟริน (epinephrine, E) ได้ประมาณ 80% จากนั้นหลั่งเข้าสู่กระแสเลือด เอพิเนฟฟรินที่เข้าสู่กระแสเลือด มีผลต่อเมตาบิลิซึม โดยการไปสลายไกลโคเจนในตับและกล้ามเนื้อลายให้เป็นกลูโคส (glycolysis) และเพิ่มการสลายไขมัน (lipolysis) ทำให้มีไตรกลีเซอร์ไรด์และกรดไขมันในเลือดสูงขึ้น

เอพิเนฟฟรินที่เข้าสู่กระแสเลือดจะไปกระทำต่อตัวรับแอลฟ่า และเบต้าของเซลล์แสดงผล เช่นเดียวกับนอร์เอพิเนฟฟริน แต่มีผลค่อนข้างเด่นชัดกว่า เอพิเนฟฟรินสามารถเพิ่มความแรงในการบีบตัวของหัวใจ และกระตุ้นการใช้พลังงานของหัวใจ และมีส่วนทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดในมัดกล้ามเนื้อลาย

*************************************

# ตอนที่ 3
# ผลทางสรีรวิทยาของอวัยวะต่าง ๆ

การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกอาจกระตุ้นการทำงานของบางอวัยวะหรือยับยั้งการ ทำงานของบางอวัยวะ ในทำนองเดียวกัน ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกไปกระตุ้นหรือยับยั้งการ ทำงานของบางอวัยวะ โดยปกติแล้วระบบประสาททั้งสองชนิดจะควบคุมการทำงานของแต่ละ อวัยวะในทางที่ตรงข้ามกัน (antagonistic effect) อย่างไรก็ตามพบว่าอวัยวะส่วนใหญ่ถูกควบคุม โดยระบบใดระบบหนึ่งเป็นหลัก ดังสรุปในตารางที่ 14-3

**ตา**

ระบบประสาทอัตโนมัติควบคุมการทำงานของตา ได้แก่ การควบคุมขนาดของรูม่านตา และการปรับความโค้งหรือระยะโฟกัสของเลนส์ การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้ radial muscle ของม่านตาหดตัวส่งผลให้รูม่านตาขยาย (mydriasis) ส่วนการกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติกทำให้ circular muscle ของม่านตาหดตัวจึงมีการหดตัวของรูม่านตา (miosis)

ส่วนใหญ่แล้วระบบประสาทพาราซิมพาเทติกมีหน้าที่ปรับระยะโฟกัสของเลนส์ ในภาวะปกติเลนส์จะมีลักษณะแบนจากแรงดึงของ radial ligament ที่ยึดเลนส์ไว้ เมื่อมีการกระตุ้นของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกจะทำให้ ciliary muscle หดตัว ส่งผลให้แรงตึงของ suspensory ligament ลดลง แล้วทำให้เลนส์มีลักษณะนูนขึ้นเพื่อปรับให้เห็นภาพที่อยู่ใกล้ชัดเจนขึ้น

**ระบบทางเดินอาหาร**

การกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติกมีผลเพิ่มการทำงานของระบบทางเดินอาหาร โดยไปเพิ่มการหดตัวแบบ peristaltic contraction ของทางเดินอาหารและทำให้กล้ามเนื้อหูรูดคลายตัว จึงเป็นการขับอาหารให้เคลื่อนที่ไปตามทางเดินอาหารได้ ในขณะเดียวกันจะมีการเพิ่มการหลั่งน้ำย่อยจากต่อมต่าง ๆ ในทางเดินอาหาร ในภาวะปกติระบบประสาทซิมพาเทติกมีผลต่อการ ทำงานของระบบทางเดินอาหารน้อยมาก ภาวะที่มีการกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกอย่างรุนแรง เช่น ขณะการออกกำลังกายอย่างหนัก จะทำให้ peristaltic contraction ลดลง กล้ามเนื้อหูรูดหดตัว การหลั่งน้ำย่อยลดลง และอาจทำให้มีการท้องผูกได้

**หัวใจ หลอดเลือด และความดันโลหิต**

การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติก ทำให้เพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ และความแรงของ การหดตัว ส่งผลให้ความดันโลหิต (blood pressure) สูงขึ้นและปริมาตรเลือดส่งออกจากหัวใจต่อนาที (cardiac output) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนและกลูโคสเพื่อเตรียมสำหรับการสู้หรือหนี ในทางตรงข้าม การกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ทำให้หัวใจเต้นช้าลงและความแรงในการบีบตัวของหัวใจลดลง ดังนั้นความดันโลหิตและ cardiac output จึงลดลงในเวลา ต่อมาเส้นประสาทเวกัส (vagus nerve) เป็นเส้นประสาทสมองเส้นที่ 10 ในระบบประสาทพาราซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงหัวใจและควบคุมการเต้นของหัวใจ (ซึ่งเกิดจากการทำงานของ intrinsic pacemaker) หากมีการรบกวนการทำงานของเส้นประสาทเวกัส เช่น ในกรณีที่มีการผ่าตัดเปลี่ยน หัวใจ (heart transplant) จะทำให้หัวใจเต้นช้ากว่าปกติได้

การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้หลอดเลือดส่วนใหญ่ในร่างกายมีการหดตัว หลอดเลือดที่ได้รับอิทธิพลมาก ได้แก่ หลอดเลือดในช่องท้องและที่ผิวหนัง ส่วนการกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติกนั้นมีผลต่อหลอดเลือดน้อยมาก แต่ทำให้เกิดการคลายตัวของหลอดเลือดได้เฉพาะบริเวณ เช่น หลอดเลือดของใบหน้าคลายตัว

**ต่อมต่าง ๆ**

ระบบประสาทอัตโนมัติมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการหลั่งสารจาก ได้แก่ ต่อมในจมูก (nasal gland) ต่อมน้ำตา (lacrimal gland) ต่อมน้ำลาย (salivary gland) และต่อมต่าง ๆ ในทางเดินอาหาร (gastrointestinal gland) ซึ่งระบบประสาทพาราซิมพาเทติกมีฤทธิ์กระตุ้นให้ต่อมเหล่านี้หลั่งสารเพิ่มขึ้นอย่างมาก

=> **ต่อมในส่วนต้นของทางเดินอาหาร** เช่น ช่องปากและกระเพาะอาหาร มีการหลั่งน้ำย่อยเพิ่มขึ้นเมื่อระบบประสาทพาราซิมพาเทติกถูกกระตุ้น ในขณะที่ enteric nervous system มีหน้าที่กระตุ้นให้ต่อมในส่วนปลายของทางเดินอาหาร (เช่น ลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่) หลั่งน้ำย่อยเพิ่มขึ้น

=> **ต่อมเหงื่อ** หลั่งเหงื่อออกมาในปริมาณมากในขณะที่ถูกกระตุ้นโดยระบบประสาทซิมพาเทติก แต่การหลั่งเหงื่อจะไม่เปลี่ยนแปลงหากกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติก โดยทั่วไปแล้ว sympathetic fiber ที่ไปยังอวัยวะต่าง ๆ เป็น adrenergic sympathetic fiber แต่ที่ไปยังต่อม เหงื่อส่วนใหญ่เป็น cholinergic sympathetic fiber

=> **ต่อม apocrine gland** ในรักแร้หลั่งสารที่มีกลิ่นเหม็นและมีลักษณะเหนียวข้นหลังจากที่ระบบประสาทซิมพาเทติกถูกกระตุ้น ส่วนระบบประสาทพาราซิมพาเทติกมีผลต่อการหลั่งสารจากต่อมนี้น้อยมาก

**ระบบหายใจ**

การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้กล้ามเนื้อเรียบของหลอดลมฝอย (bronchiole) คลายตัว ส่งผลให้หลอดลมขยายตัว (bronchodilation) ดังนั้นการระบายอากาศ (ventilation) จึงมากขึ้นในขณะสู้หรือหนี ส่วนระบบประสาทพาราซิมพาเทติกให้ผลในทางตรงข้ามคือ หลอดลมตีบแคบ (bronchoconstriction) และมีการหลั่งสารจากต่อมในทางเดินหายใจ (bronchial gland) ลดลง

**ระบบสืบพันธุ์**

โดยส่วนใหญ่แล้ว ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกและระบบประสาทซิมพาเทติกมีการงานที่ตรงข้ามกัน อย่างไรก็ตามในบางกรณีทั้งสองระบบนี้มีการทำงานที่ประสานกัน ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมการทำงานของอวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย ซึ่งการกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ทำให้อวัยวะเพศแข็งตัว (erection) และระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้น้ำอสุจิหลั่ง (ejaculation) ออกมา

**ระบบต่อมไร้ท่อ**

ระบบประสาทอัตโนมัติที่ทำงานรวดเร็วที่สุด ได้แก่ ระบบประสาทซิมพาเทติกที่ไปยังต่อมหมวกไตส่วนใน ซึ่งยังมีความแตกต่างจากระบบประสาทอัตโนมัติที่ไปยังอวัยวะอื่นตรงที่เซลล์ประสาทซิมพาเทติกที่ส่งแอกซอนไปเลี้ยงต่อมหมวกไตส่วนในเป็น preganglionic sympathetic neuron ดังนั้น chromaffin cells ของต่อมหมวกไตส่วนในจึงถือเป็น postganglionic sympathetic neuron ที่หลั่งสารสื่อประสาทเอพิเนฟริน

**ตารางที่ 14-3 แสดงการตอบสนองของอวัยวะต่างๆ ต่อสารสื่อประสาทของระบบประสาทซิมพาเทติก และระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ที่ควรทราบ**

| อวัยวะแสดงผล | ซิมพาเทติก | พาราซิมพาเทติก |
|---|---|---|
| หัวใจ | เต้นเร็วขึ้น (tachycardia) | เต้นช้าลง (bradycardia) |
| หลอดลมในปอด | ขยาย (dilatation) | หดตัว (constriction) |
| ต่อมน้ำลาย | น้ำลายเหนียว | น้ำลายเป็นน้ำ |
| กระเพาะอาหาร | การเคลื่อนไหวลดลง | การเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้น |

| ลำไส้ | ลดการบีบตัว | เพิ่มการบีบตัว |
|---|---|---|
| รูม่านตา | ขยาย (pupil dilatation) | หด (pupil constriction) |
| ต่อมเหงื่อ | เหงื่อออก | - |
| กระเพาะปัสสาวะ | หย่อน (relaxation) | หดตัว (contraction) |

************************************

เอกสารอ้างอิง

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

สมฤดี สายหยุดทอง. (2558). *ประสาทสรีรวิทยา.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

-------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** อวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ
(Special senses)

**จำนวน** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์ และสรีรวิทยา ตลอดจนทำงานของอวัยวะในระบบประสาทรับความรู้สึกพิเศษ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปใช้ในการเรียนการฝึกปฏิบัติด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้อย่างถูกต้อง

**ผลการเรียนรู้** เมื่อสิ้นสุดการเรียนการสอน นักเรียนสามารถ

1. ทราบชื่อ ความหมาย และหน้าที่ของอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษต่างๆ ในระบบประสาทมนุษย์
2. บอกลักษณะรูปร่าง โครงสร้าง และตำแหน่งของอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษได้
3. อธิบายกระบวนการทำงานของอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษต่างๆ ในสภาวะปกติได้
4. ทราบถึงกลไกการทำงานที่ผิดปกติของอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ ที่ทำให้เกิดอาการและอาการแสดงทางคลินิก หรือแสดงพฤติกรรมที่ผิดปกติ

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายความแตกต่างระหว่างระบบการรับความรู้สึกทั่วไปกับระบบรับความรู้สึกชนิดพิเศษได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายกระบวนการรับความรู้สึกได้อย่างถูกต้อง
4. บอกความหมาย หน้าที่และกลไกการทำงานของจมูกและการรับกลิ่นได้อย่างถูกต้อง
5. บอกความหมาย หน้าที่และกลไกการทำงานของลิ้นและการรับรสได้อย่างถูกต้อง
6. บอกส่วนประกอบ อวัยวะปกป้องและการเคลื่อนไหวของลูกตาได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายกระบวนการของการมองเห็นได้อย่างถูกต้อง
8. บอกภาวะความผิดปกติของดวงตาและการมองได้อย่างถูกต้อง
9. บอกความหมาย หน้าที่และกลไกการทำงานของหูและการได้ยินได้อย่างถูกต้อง
10. บอกความหมาย หน้าที่และกลไกการทำงานของหูและการทรงตัวได้อย่างถูกต้อง
11. บอกภาวะความผิดปกติของการได้ยินและการทรงตัวได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยาย
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การมอบหมายงานให้ผู้เรียนรายงาน/สืบค้นรายบุคคล

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. โปรแกรมนำเสนอ power point
2. อุปกรณ์สื่อโสตทัศนูปกรณ์
3. เอกสารคำสอน

**การวัดผล**

1. การสอบทบทวนกลางภาคเรียน
2. งานมอบหมาย ตรวจรายงานที่นักศึกษาจัดทำ

# บทที่ 15
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ
# (Anatomy and Physiology of Special senses)

ร.ต.อานนท์ ศิลาเพชร

การที่มนุษย์สามารถรับสัมผัสและความรู้สึกต่างๆ จากสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวได้นั้น เกิดขึ้นได้จากระบบรับความรู้สึก (sensory system) โดยจะมีตัวรับความรู้สึก (sensory receptor) ซึ่งอยู่ภายในอวัยวะต่างๆของร่างกาย ทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อมไปยังระบบประสาทของสมอง จากนั้นสมองจะแปลและประมวลผล เพื่อทำให้เกิดการรับรู้และการตอบสนองที่เหมาะสมต่อไป

ระบบรับความรู้สึกของมนุษย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ระบบการรับความรู้สึกทั่วไป (general sensory system) และระบบรับความรู้สึกชนิดพิเศษ (special sensory system)

**1. ระบบการรับความรู้สึกทั่วไป (general sensory system)**

การรับความรู้สึกทั่วไปประกอบด้วยการรับความรู้สึกทางกาย (somatic sense) และความรู้สึกของอวัยวะภายใน (visceral sense) โดยการรับความรู้สึกทางกาย ได้แก่ การรับความรู้สึกสัมผัส (touch), แรงกด (pressure), การสั่นสะเทือน (vibration), อุณหภูมิ (temperature), ความรู้สึกเจ็บ (pain), ความรู้สึกสัมผัสชนิดละเอียด (tactile discrimination) และความรู้สึกจากกล้ามเนื้อและข้อ (proprioception)

**2. ระบบรับความรู้สึกชนิดพิเศษ (special sensory system)**

การรับความรู้สึกชนิดพิเศษ ได้แก่ การรับกลิ่น (olfaction), การรับรส (gustation), การมองเห็น (vision), การได้ยิน (audition) และการทรงตัว (equilibrium) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## กระบวนการรับความรู้สึก (The Process of Sensation)

ขั้นตอนแรกของการรับความรู้สึก เกิดขึ้นเมื่อตัวรับความรู้สึก (Sensory receptor) ถูกกระตุ้น โดยแขนงหนึ่งของ receptor จะทำหน้าที่รับสัญญาณความรู้สึกจากสิ่งแวดล้อม (Afferent path) แล้วเปลี่ยนเป็นกระแสประสาทส่งสัญญาณไปตามเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neuron) อีกแขนงหนึ่ง (Efferent path) เข้าสู่สมอง (Cerebrum) จากนั้นสมองจะแปลและประมวลผลความรู้สึกที่ได้รับแล้วทำการตอบสนอง โดยพบว่า sensory receptor ชนิดหนึ่งจะทำหน้าที่รับความรู้สึกเพียงชนิดเดียวเท่านั้น โดยสิ่งที่กระตุ้นตัวรับความรู้สึกเรียกว่า “ตัวกระตุ้น” (Stimulus) ซึ่งมีได้หลายรูปแบบ เช่น แสง ความร้อน เสียง การเปลี่ยนแปลงความดัน และสารเคมี เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อมีการกระตุ้นเกิดขึ้น จะทำให้เกิดขั้นตอนต่างๆของการรับความรู้สึก สรุปได้ดังนี้

1. การกระตุ้นตัวรับความรู้สึก (Sensory receptor)
2. เกิดการถ่ายทอดสัญญาณการกระตุ้น
3. เกิดการสร้างกระแสประสาท
4. สัญญาณประสาทถูกถ่ายทอดเข้าสู้ระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system; CNS)
5.ระบบประสาทส่วนกลางแปลผลความรู้สึก
6. ร่างกายตอบสนองในรูปแบบต่างๆ

## ระบบการรับความรู้สึกชนิดพิเศษ (special sensory system)

ระบบการรับความรู้สึกชนิดพิเศษมีลักษณะที่แตกต่างจากระบบการรับความรู้สึกทั่วไป ไม่เพียงแต่มีปลายประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve ending) ที่ถูกออกแบบเป็นโครงสร้างพิเศษเพื่อการรับความรู้สึกเท่านั้น

(receptors) หากแต่ยังมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่า มีลักษณะเฉพาะของการรับแต่ละชนิด และมักฝังอยู่ในเนื้อเยื่อตามตำแหน่งต่างๆของร่างกาย โดยสามารถจัดเป็นอวัยวะรับสัมผัส (sense organs) ที่จำเพาะได้ ได้แก่ จมูก ลิ้น ตา และหู

## จมูกและการรับกลิ่น
## (Olfactory sense)

อวัยวะที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับกลิ่นคือ จมูก (nose) บริเวณที่ทำหน้าที่นี้อยู่ที่ผิวภายในโพรงจมูกส่วนบนค่อนไปทางด้านหลัง (superior nasal concha) เรียกว่า Olfactory region โดยจะมีเยื่อบุผิวโพรงจมูกเป็นแผ่นเล็กๆ เรียกว่า Olfactory epithelium ประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทรับกลิ่น (Olfactory cells) ฝังตัวอยู่

Olfactory cells ประกอบด้วย bipolar neurons และ sustentacular cells ทำหน้าที่ค้ำจุนเซลล์ประสาทรับกลิ่น นอกจากนั้นยังมีต่อมที่ผลิตน้ำหล่อหรือเมือกให้เยื่อบุผิวชุ่มชื้นและทำให้สารที่มีกลิ่นละลายลงไปสัมผัสกับเซลล์รับกลิ่นได้ เซลล์รับกลิ่นมีแขนงปลาย (peripheral processes) มาสิ้นสุดที่เยื่อบุโพรงจมูกทำหน้าที่รับกลิ่น ส่วนแขนงกลาง (central processes) จะรวมกันเป็นเส้นประสาทรับกลิ่น (Olfactory nerve หรือ 1$^{st}$ cranial nerve) โดย Olfactory nerve จะเข้าสู่ anterior cranial fossa ของโพรงกะโหลกศีรษะโดยผ่านทาง cribriform plate ของกระดูกศีรษะส่วน ethmoid ไปติดต่อกับเซลล์ใน Olfactory bulb และต่อไปยัง Olfactory tract โดยจะเรียวลงเป็นแถบยาวเข้าสู่สมองส่วนที่เป็นศูนย์ควบคุมซึ่งอยู่บริเวณสมองส่วนหน้าของขมับ (Temporal lobe)

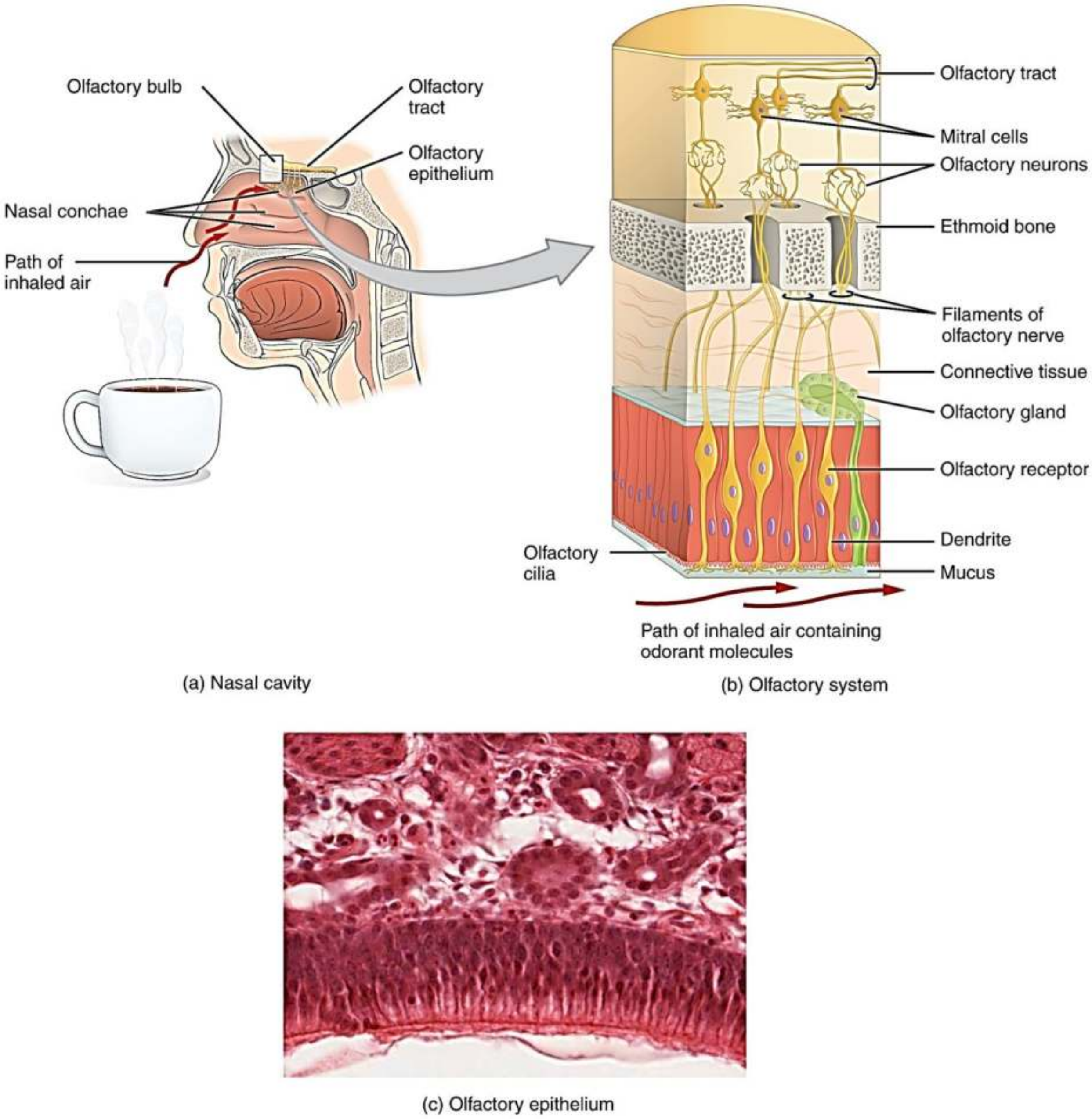
ส่วนที่ทำหน้าที่รับกลิ่น คือ Uncus กับ amygdala ของ temporal lobe, septal area และ limen insulae ของ insula cortex รวมทั้ง anterior perforating substance ที่อยู่ใต้ frontal lobe ด้วย บริเวณของสมองที่รับกลิ่นนี้จะอยู่รอบๆ ฐานของ Olfactory tract นั่นเอง จากบริเวณที่รับกลิ่นนี้จะมีวิถีเส้นประสาทส่งไปยังสมองส่วนอื่นๆ เพื่อแสดงพฤติกรรมตอบสนองต่อกลิ่นที่ได้รับนั้นต่อไป

ลักษณะของสารที่มากระตุ้นต่อการรับกลิ่น ต้องเป็นสารที่ระเหยได้หรือละลายน้ำได้เท่านั้นจึงจะสามารถกระตุ้น receptors ของการรับกลิ่นได้ เช่น สารระเหยต่างๆ (Volatile substance) เพื่อที่จะสูดเข้าไปสู่โพรงจมูก นอกจากนั้น Olfactory receptors ที่ต่างชนิดกัน จะมีความสามารถในการรับรู้และจดจำกลิ่นได้แตกต่างกันออกไปอีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น ammonia ซึ่งเป็นสารระคายเคือง (irritating substance) ชนิดหนึ่ง จะกระตุ้นความรู้สึกเจ็บของปลายประสาทสมองเส้นที่ 5 (trigeminal nerve) ทำให้เกิดอาการแสบจมูก พร้อมๆ กับการกระตุ้น Olfactory cells ทำให้เกิดกลิ่นไปพร้อมๆ กัน

Receptors ที่จมูกจะรับรู้เกี่ยวกับสารเคมีโดยฝังตัวอยู่ที่เยื่อบุผิวภายในช่องจมูก (Olfactory epithelium) โดยจะประกอบไปด้วยเซลล์ 3 ชนิด คือ

1. เซลล์รับกลิ่น (Olfactory receptor cells) ซึ่งเป็นเซลล์ประสาท 2 ขั้ว (bipolar neurons)
2. เซลล์ sustentacular cells หรือ supporting cells ทำหน้าที่สร้างเมือกร่วมกับต่อมภายในโพรงจมูก (Olfactory gland) เพื่อทำให้เกิดความชุ่มชื้น และเป็นตัวทำละลายสารเคมี
3. อีกชนิดหนึ่งเป็นเซลล์ขนาดเล็กเรียกว่า basal cells ทำหน้าที่แบ่งเซลล์ กำเนิดเซลล์รับกลิ่น และเซลล์ sustentacular cells เดิมที่ตายไป

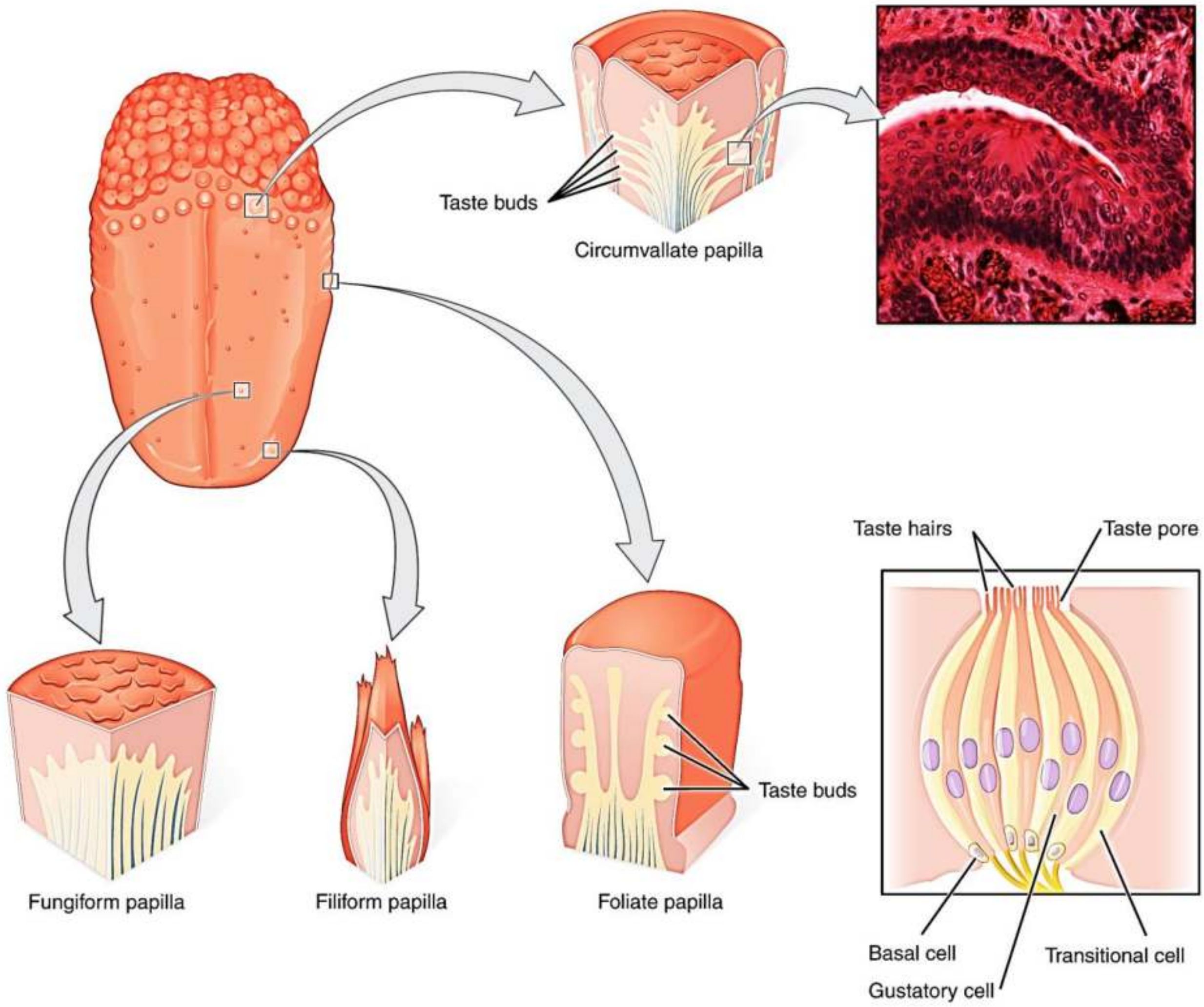
บริเวณส่วนปลายของเซลล์รับกลิ่นจะมีขนยื่นเข้าไปในชั้นเมือกที่เคลือบอยู่ในช่องจมูก และมีแอกซอนของเซลล์รับกลิ่น (เซลล์ประสาทที่ไม่มีไมอิลินหุ้ม) จะผ่านไปที่ basal lamina และรวมกลุ่มกันเป็นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 (Olfactory nerve) ทอดผ่านไปยัง Olfactory bulb, Olfactory tract เข้าสู่ Olfactory cortex ที่ชั้น temporal ของ cerebrum




รูปที่ 15-1 ภาพ (a) แสดงโครงสร้างระบบรับกลิ่นของโพรงจมูก (b) แสดงเซลล์ประสาทรับกลิ่น (Olfactory receptor neuron) ที่ตำแหน่ง olfactory epithelium (c) ภาพแสดง Axons ของ olfactory receptor ที่ synapse กับ neurons ของ olfactory bulb บน cribriform plate ของ ethmoid bone

## ลิ้นและการรับรส
## (Taste or Gustatory sense)

อวัยวะที่ทำหน้าเกี่ยวกับการรับรสคือ ลิ้น ตรงบริเวณพื้นผิวของลิ้นจะมี Mucous membrane ที่ยื่นนูนเป็นปุ่มขึ้นมา เรียกว่าปุ่มรับรส (papillae) โดยรสชาติของอาหารรับรู้ได้จากโครงสร้างรับสัมผัส (receptor) ที่อยู่ด้านข้างของปุ่ม papillae ซึ่งมี 3 ชนิดคือ Fungiform papillae จะพบอยู่บริเวณปลายลิ้น, Filiform papillae พบบริเวณค่อนมาทางด้านหน้าของลิ้น และ Vallate papillae จะเรียงตัวเป็นรูปตัว V ตรงใกล้ๆ โคนลิ้น และที่บริเวณ papillae นี้จะพบ receptor เฉพาะที่เรียกว่าตุ่มรับรส (taste bud) ยกเว้นที่ Filiform papillae นอกจากนั้น taste bud ยังอาจพบที่ soft palate, pharynx และ epiglottis ได้ ใน papillae หนึ่งอันมี taste bud อยู่ประมาณ 250 อัน เป็น receptor สำหรับรับรส ซึ่งประกอบด้วยเซลล์บุผิวจำนวนมากมารวมกันและเปลี่ยนรูปเป็น taste bud เซลล์เหล่านี้มีช่วงอายุเพียง 10 วัน และจะถูกสร้างทดแทนขึ้นใหม่อยู่เรื่อย ๆ ดังนั้นจึงมีทั้งเซลล์ที่ยังอ่อนอยู่และบางเซลล์ที่เป็นเซลล์แก่ เซลล์ที่สร้างใหม่จะอยู่บนผิวหน้า แล้วจึงค่อยๆ เปลี่ยนแปลงเคลื่อนที่เข้าไปภายใน เซลล์ที่แก่แล้วจะอยู่บริเวณศูนย์กลางของต่อม




รูปที่ 15-2 ภาพแสดงลักษณะผิวด้านบนของลิ้น แสดงโครงสร้างของ papillae และ taste bud

Taste bud มีลักษณะคล้ายหัวหอม พบเซลล์รูปกระสวยเรียงกันแน่นอยู่ภายใน โครงสร้างของตุ่มรับรสแต่ละอันประกอบด้วยเซลล์รับรส (taste cells หรือ gustatory cells) ประมาณ 25 เซลล์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากเยื่อบุผิว อยู่กันเป็นกลุ่มและมีเซลล์ค้ำจุน (sustentacular cells) ทำหน้าที่สร้างเซลล์รับรสใหม่แทนเซลล์เดิมที่ถูกทำลายไป และมีขนรับรส (taste hair) ยื่นออกไปตรงช่องของตุ่มรับรส (taste pore) เปิดสู่พื้นผิวของ papillae ซึ่งจะเป็นบริเวณที่รับสารละลายจากภายนอกให้มาสัมผัสกับ taste cells เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับสารเคมี บริเวณฐานของ taste bud จะมีใยประสาท (nerve fibers) แทรกตัวอยู่ตรงกลางระหว่างเซลล์ ตุ่มรับรสบนลิ้นจะทำหน้าที่รับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากสารเคมี ซึ่งจะทำให้เกิดรส 4 ประเภทคือ เปรี้ยว (sour), หวาน (sweet), เค็ม (salty), ขม (bitter) และในปัจจุบันรสชาติที่ 5 ถูกเรียกว่า umami ซึ่งมีตัวรับกลูตาเมตแยกเฉพาะออกไปจากรสชาติอื่นๆ ตำแหน่งส่วนใหญ่ของ taste bud พบที่บริเวณด้านหน้าและด้านข้างของลิ้น ที่ข้างบนของต่อมทอนซิลและรอบๆ Nasopharynx โดยทั่วไปการรับรสต่างๆที่ลิ้นมีความแตกต่างกัน รสเปรี้ยวอยู่ด้านข้างของลิ้นสองข้าง รสหวานรับรสได้ดีที่ปลายลิ้น รสเค็มอยู่ด้านข้างค่อนไปทางปลายลิ้นทั้งสองข้าง และรสขมอยู่กลางโคนลิ้น

เมื่อมีสารเคมีซึ่งอยู่ในสภาพสารละลาย มากระตุ้น taste hair และเข้าสู่ taste pore ซึ่งจะทำหน้าที่กระตุ้นทางเคมี เพราะการรับรสต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่อ Taste bud จากนั้นจะเกิดกระแสประสาทจากลิ้นส่งไปตามเส้นประสาทสมองคู่ที่ VII, IX และ X ตามตำแหน่งของ taste bud นั้นๆ คือ บริเวณตัวลิ้น (body of tongue) จะรับรสโดย facial nerve (VII), บริเวณโคนลิ้น (root of tongue) จะรับรสโดย glossopharyngeal nerve (IX) และบริเวณ epiglottis จะรับรสโดย vagus nerve (X) ไปสิ้นสุดที่เมดัลลาออบลองกาตา โดยมีปลายของแอกซอนไปที่สมองสวนทาลามัส และศูนย์รับรู้เกี่ยวกับรสที่ parietal lobe ของ cerebral cortex จากนั้นสัญญาณประสาทของการรับรสจะถูกส่งไปแปลผลที่ Insular cortex เป็นรสชาติต่างๆต่อไป ซึ่งการรับรสและการได้รับกลิ่นจะทำให้เกิดความหลากหลายของการรับความรู้สึก

## ตาและการมองเห็นภาพ
## (Visual sensation or Vision)

อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นคือ ตา (eye) ซึ่งมีลักษณะกลม ประกอบด้วยลูกตา (eyeball) บรรจุอยู่ภายในเบ้าตา มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันยึดไว้อย่างหลวมๆ ประสาทตา (Optic nerve) เป็นประสาทของการมองเห็นในสมอง อวัยวะที่ช่วยป้องกันตาและเคลื่อนไหว ได้แก่ หนังตา ขนตา เยื่อบุตา (conjunctiva) และกล้ามเนื้อของลูกตา เป็นต้น

**ส่วนประกอบของดวงตา**

ลูกตาตั้งอยู่ในกระบอกตา มีหนังตาทำหน้าที่ป้องกันลูกตา มีขนตาป้องกันฝุ่นละออง ขนคิ้วป้องกันเหงื่อและแสงที่จ้าเกินไป มีต่อมสร้างน้ำหล่อเลี้ยงกระจกตาและป้องกันเชื้อโรค ดวงตาแต่ละข้างมีกล้ามเนื้อ 6 มัดช่วยกันทำให้ตาเคลื่อนไหว กลอกไปมาได้ ลูกตาประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นคือ ชั้นนอก (Supporting layer) ชั้นกลาง (Vascular layer) และชั้นในสุด (Retinal layer)

1. ชั้นนอกสุดของลูกตา เป็น Fibrous coat แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

1.1 Sclera หรือตาขาว เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสีขาวลักษณะทึบแสง หนา ทำให้ลูกตาคงรูปร่างอยู่ได้ด้านหลังมีช่องให้เส้นประสาทออพติก (optic nerve) ผ่านเข้าออก

1.2 ด้านหน้าสุดเป็นกระจกตา (Cornea) ลักษณะใส โปร่งแสง เป็นส่วนเยื่อที่คลุมส่วนดำของลูกตา ไม่มีหลอดเลือดมาเลี้ยง ทำหน้าที่ให้แสงผ่านเข้าไปในลูกตาได้

2. ชั้นกลางเป็น vascular coat มีลักษณะบาง สำหรับให้เส้นเลือดและเส้นประสาทที่ตาทอดผ่านได้ ประกอบด้วย

2.1 Choroid เป็นผนังบางอยู่ถัดจาก Sclera มีเส้นเลือดและเส้นประสาทมาเลี้ยงเป็นจำนวนมากและมีชั้นรงควัตถุ หรือเซลล์สี (pigment cells) ทำหน้าที่ดูดแสงที่ผ่านจากเรตินา เพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของแสงเข้าสู่เรตินาซึ่งจะทำให้ภาพไม่ชัด

2.2 ส่วนที่อยู่ทางด้านหน้าจะหนาตัวเป็น ciliary body อยู่ใต้ขอบของ cornea ทำหน้าที่ผลิตของเหลวเรียก aqueous humer เข้าไปอยู่ในช่องว่างของลูกตาด้านหน้าเลนส์ (anterior chamber) ประกอบด้วย ciliary process และ ciliary muscle โดย ciliary process จะมีลักษณะเป็นสันขึ้นมา แผ่เป็นรัศมีออกไปยังขอบนอกของม่านตา (Iris) เป็นที่อยู่ของเส้นเลือดและเป็นที่ยึดเกาะของเอ็น (suspensory ligament) ส่วน ciliary muscle เป็นกล้ามเนื้อเรียบ มีเอ็นยึดเลนส์ตาควบคุมการโป่งนูนของเลนส์ (Lens) เพื่อให้เห็นภาพในระยะต่างๆ ได้ชัดเจนขึ้น

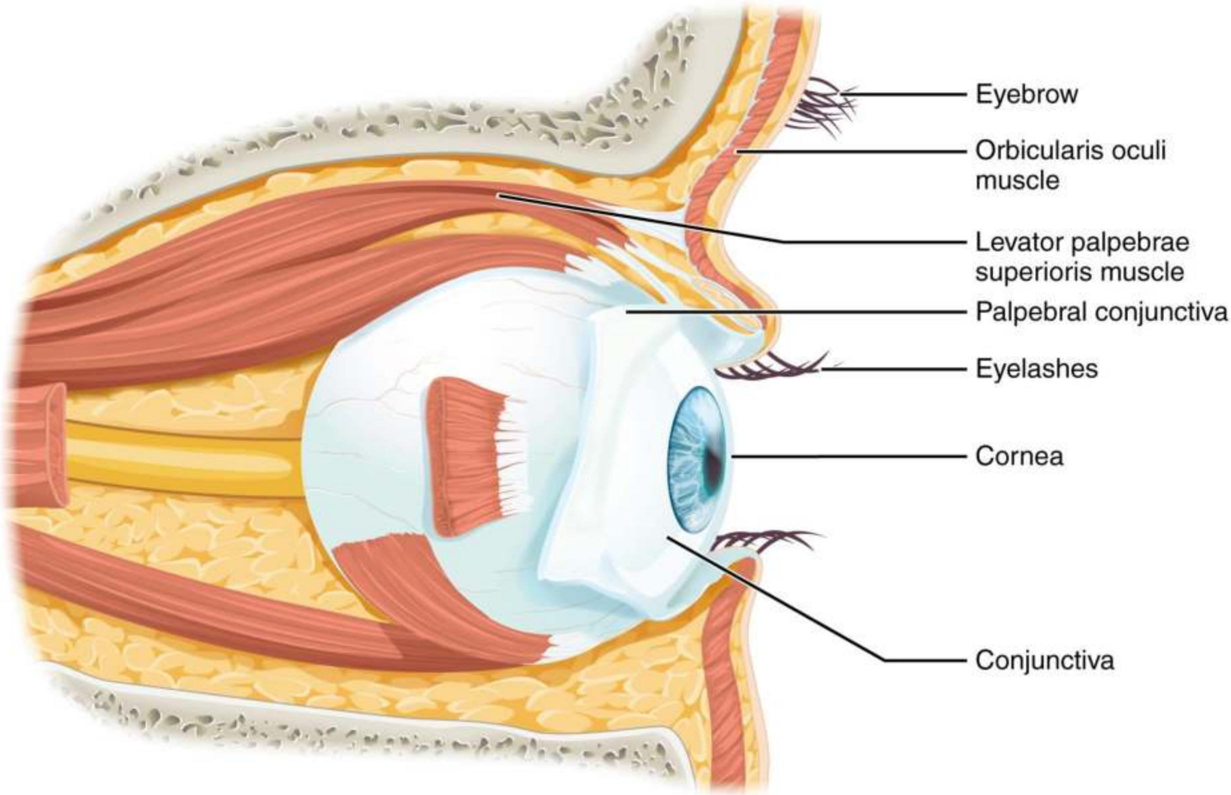
2.3 Iris หรือม่านตา อยู่หน้าเลนส์ หลัง cornea ช่องระหว่างขอบของม่านตาเรียกว่ารูม่านตา (pupil) ทำหน้าที่ปรับขนาดของรูม่านตา ช่วยควบคุมปริมาณแสงที่จะเข้าสู่ลูกตา ม่านตาถูกยึดด้วยกล้ามเนื้อ 2 ชนิด คือ sphincter muscle ควบคุมโดย parasympathetic ทำหน้าที่ดึงรูม่านตาให้หดเล็กลง และ dilator muscle ควบคุมโดยประสาท sympathetic ทำหน้าที่เปิดรูม่านตาให้ขยายกว้างออก เมื่อมีแสงเข้าน้อย ซึ่งกลไกการทำงานของการขยายหรือหดรูม่านตาต้องอาศัย reflex ที่เรียกว่า Light reflex ร่วมกับการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ

สีของตาขึ้นอยู่กับ pigment cells ในม่านตาด้วย ถ้ามีเซลล์สีอยู่น้อย ตาจะมีสีฟ้า ถ้ามีเซลล์สีอยู่มากขึ้น ตาจะเป็นสีเทา น้ำตาลหรือดำ

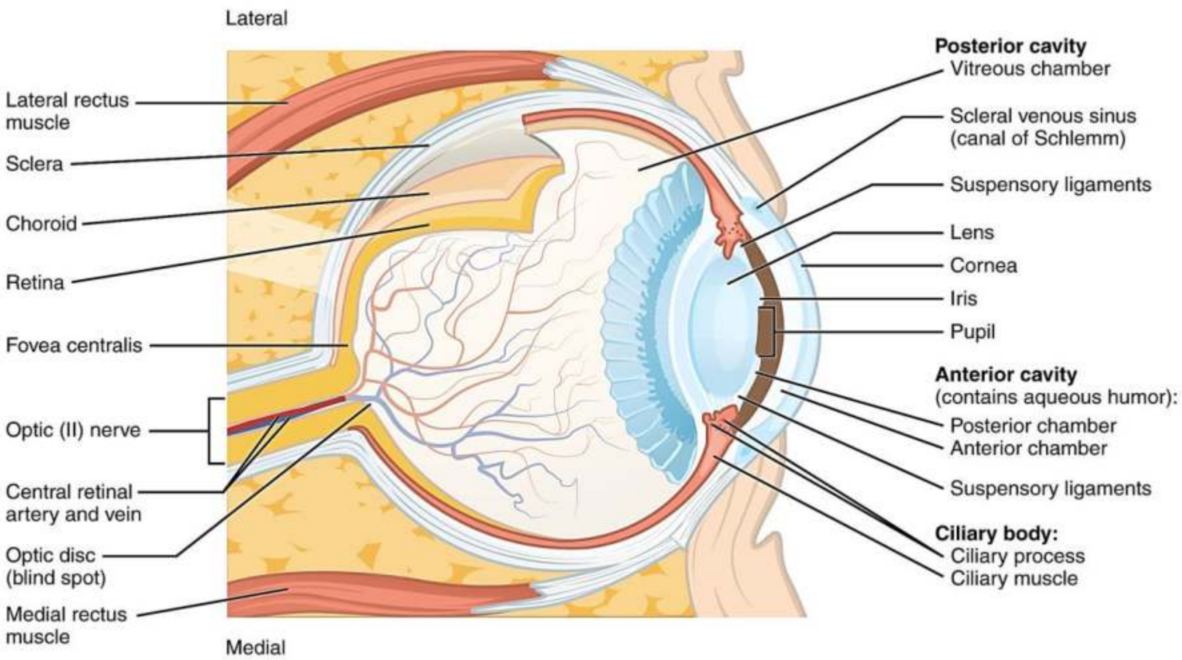
3. ส่วนที่อยู่ชั้นในสุดของลูกตา คือ Nervous coat หรือ Retina เป็นจอรับภาพที่ไวต่อแสง แผ่อยู่ด้านหลังของลูกตา ทำหน้าที่เป็น light receptor บริเวณที่บางเป็นชั้นรงควัตถุป้องกันการสะท้อนของแสงจากด้านหลังของเรตินา ส่วนบริเวณที่หนามีเนื้อเยื่อประสาท neuroretina ซึ่งติดต่อกับเส้นประสาทออพติก บริเวณ neuroretina มีเซลล์ประสาทรับรู้เกี่ยวกับแสงสี 2 ชนิด คือ เซลล์รูปแท่ง (Rod cell) และเซลล์รูปกรวย (Cone cell)

Rod cells เป็นรูปยาวทรงกระบอก มีความไวต่อแสงประกอบด้วยสีที่เรียกว่า rhodopsin หรือ visual purple เป็นตัวรับรู้ เมื่อนัยน์ตาอยู่ในที่มืดสลัว ส่วน Cone cells เป็นรูปกระสวย มีหน้าที่ในการจำแนกสีต่างๆได้ดีเมื่อถูกเร้า เซลล์ประสาททั้งสองชนิดนี้ จะส่งคลื่นประสาทผ่านเซลล์ประสาทในชั้นต่างๆ ของ retina ไปยัง optic nerve ซึ่งทอดทะลุไปสู่ Cerebral cortex

ด้านในสุดของชั้นเรตินาจะสัมผัสกับ vitreous humor ซึ่งเป็นของเหลวที่บรรจุอยู่ภายใน posterior chamber ช่วยให้ลูกตาคงรูปร่าง และช่วยในการหักเหของแสง ถ้าแสงตกลงที่ Fovea centralis ซึ่งเป็นบริเวณที่มีเซลล์รูปกรวยจำนวนมากจะทำให้ได้รับภาพที่คมชัดที่สุด แต่ถ้าแสงไปตกบริเวณ optic disc ซึ่งเป็นทางออกของเส้นประสาทออพติกและแขนงเส้นเลือดที่ทะลุเข้าสู่นัยน์ตา บริเวณนี้มีเฉพาะเส้นใยประสาทเท่านั้น ไม่มีทั้งเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวยอยู่เลย จึงไม่สามารถเห็นภาพที่ตกบริเวณนี้ เรียกบริเวณนี้ว่าจุดบอด (Blind spot)




รูปที่ 15-3 ภาพแสดงโครงสร้างประกอบภายนอกของตา




รูปที่ 15-4 ภาพแสดงโครงสร้างประกอบภายในของตา

**อวัยวะที่ช่วยป้องกันลูกตาและการเคลื่อนไหวของลูกตา**

ตาเป็นอวัยวะที่มีความสำคัญและอาจได้รับอันตรายได้ง่าย จึงจำเป็นต้องมีกลไกในการป้องกันอันตราย โดยมีหนังตา (eyelids) คอยปิดเปิด ซึ่งเป็นการกระทำโดยปฏิกิริยารีเฟล็กซ์ที่เรียกว่า Protective reflex เพื่อป้องกันตัวกระตุ้นที่อาจทำหรือกำลังจะมาทำอันตราย เช่น แสงที่มีความเข้มมาก หรือวัตถุที่เคลื่อนไหวเร็วเข้ามาใกล้ การกระพริบตายังเกิดขึ้นได้เองตลอดเวลา เพื่อเป็นการทำความสะอาดตาดำ โดยมีน้ำจากต่อมน้ำตา (Lacrimal gland) มาช่วยชะล้างทำความสะอาด นอกจากนั้นยังมี Lysozyme ซึ่งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย

**การเคลื่อนไหวของลูกตา**

ลูกตามีกล้ามเนื้อ เพื่อทำให้เคลื่อนไหวได้ข้างละ 6 มัด ซึ่งแต่ละมัดจะทำหน้าที่เพื่อดึงลูกตาให้หันไปในทิศทางต่างๆ โดยกล้ามเนื้อทั้ง 6 มัดนี้จะต้องทำงานร่วมกันเป็นอย่างดีจึงจะสามารถทำให้ลูกตาเคลื่อนไหว เพื่อตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นได้อย่างเหมาะสม

กล้ามเนื้อตาทั้ง 6 มัดแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ดึงตามแนวตรง และอีกพวกหนึ่งดึงตามแนวทแยงมุม ประกอบด้วย

1. Superior rectus กลอกตาขึ้นบนและเอียงไปทางหางหัวตา
2. Anterior rectus กลอกตาไปทางหัวตา
3. Posterior rectus ดึงลูกตาให้ชำเลืองไปทางหางตา
4. Inferior rectus กลอกตาลงล่าง
5. Superior oblique กลอกลูกตามองลงล่างและไปทางหางตา
6. Inferior oblique กลอกลูกตาขึ้นด้านบนและไปทางหางตา

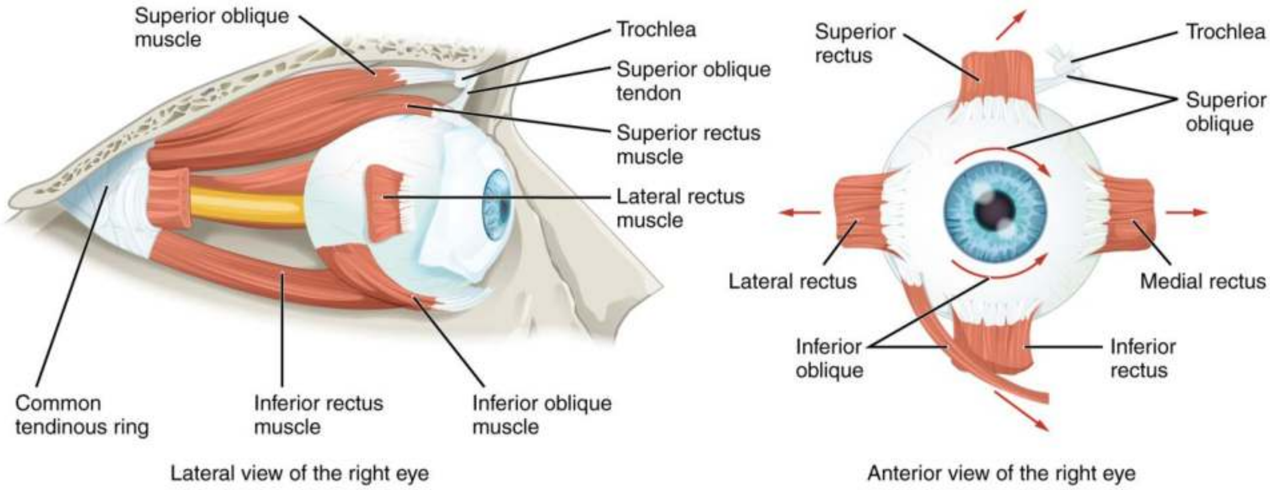



**Figure 5** ภาพแสดงกล้ามเนื้อตา

**ส่วนที่ช่วยในการหักเหของแสง**

ก่อนที่แสงจะเดินทางถึงจอตา (Retina) จะต้องผ่านสิ่งต่างๆ ดังนี้ คือ

1. Aqueous humor มีลักษณะเป็นน้ำใสๆ บรรจุอยู่ในส่วนของ aqueous chamber ซึ่งเป็นช่องอยู่ระหว่าง cornea และเลนส์ กับ suspensory ligament และ ciliary body ช่องนี้ถูกแบ่งโดย Iris เป็น anterior chamber และ Posterior chamber

2. Lens และแก้วตา มีลักษณะเป็นก้อนใส ผนังนูนโค้งทั้งสองด้าน อยู่ด้านหลังของลูกตาดำ มี Elastic capsule หุ้มอยู่ติดกับปลายหนึ่งของ Suspensory ligament ส่วนอีกปลายหนึ่งยึดติดกับ Ciliary body โดยประโยชน์ของเลนส์ คือช่วยให้แสงหักเหและรวมเป็นจุดเดียวกันทำให้เห็นภาพชัดบน Retina

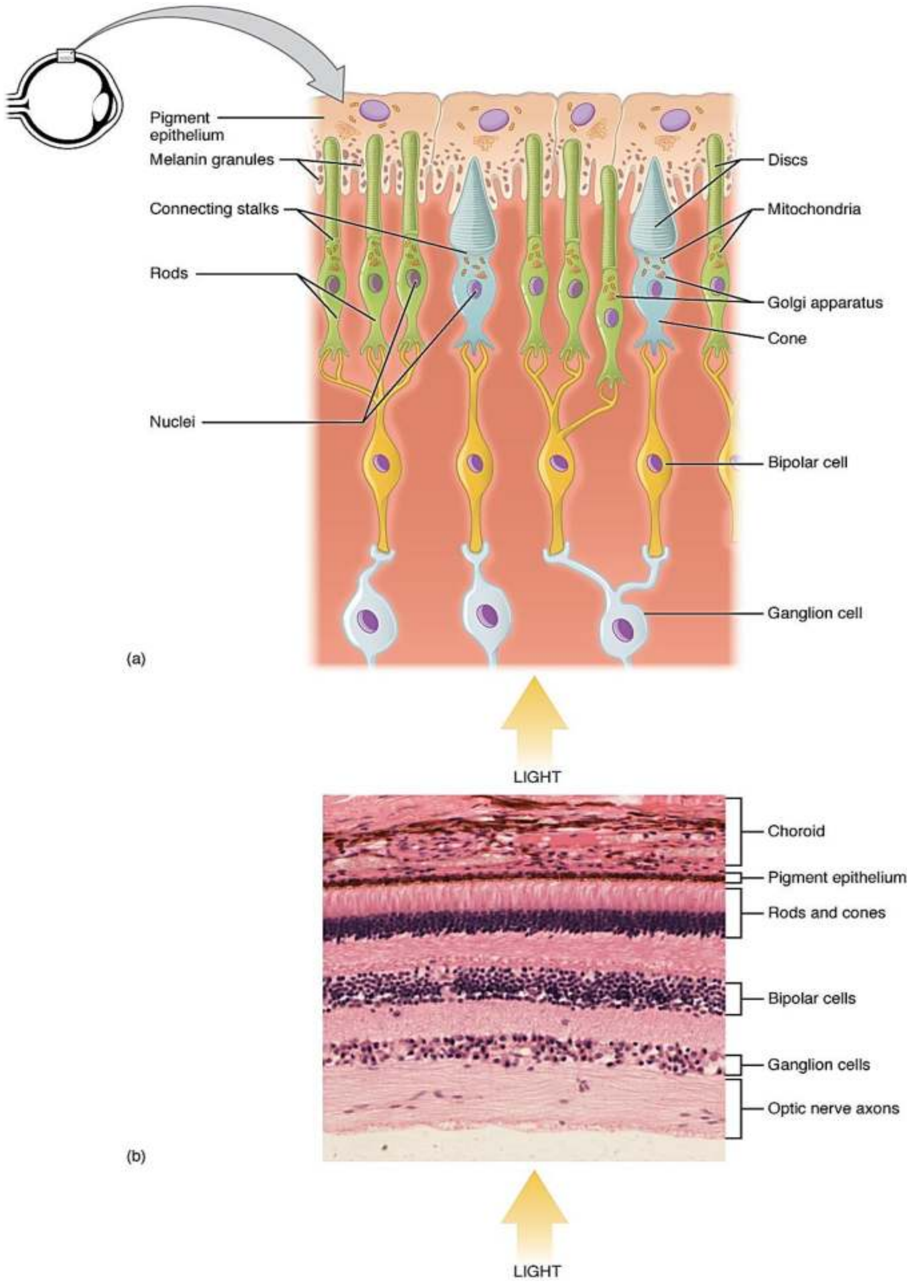
3. Vitreous body เป็นน้ำเมือกใสคล้ายไข่ขาว อยู่ภายในช่องส่วนหลังของลูกตาทางด้านหลังเลนส์ มีหน้าที่ช่วยทำให้ลูกตาเป็นรูปทรงกลมอยู่ได้

**กระบวนการของการมองเห็น**

การมองเห็นภาพ เริ่มจากเมื่อแสงผ่านเข้าสู่ลูกตา แสงจะผ่านทางส่วนของกระจกตา (Cornea), aqueous humor, pupil, lens และ vitreous body ตามลำดับ โดยเมื่อแสงจากวัตถุผ่านกระจกตาจะทำให้เกิดการหักเหครั้งแรก และเมื่อไปกระทบเลนส์ตาจะเกิดการหักเหครั้งที่สองไปตกลงที่ retina ตรงบริเวณที่มี rod cells และ cone cells โดยที่ rod cells จะมีรงควัตถุรับแสงที่ประกอบขึ้นจากวิตามินเอ (retinal) แสงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและเกิดการส่งกระแสประสาท ผ่านทาง optic nerve ไปยัง visual center ซึ่งอยู่ในสมองบริเวณ Occipital lobe จากนั้นสมองจะแปล impulse นั้น ออกมาในรูปของการมองเห็น ซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ แสงสว่าง สี และรูปร่าง

ในภาวะที่ไม่มีแสง วิตามินเอซึ่งอยู่ในรูป cis จะจับกับโปรตีน Opsin กลายเป็น Rhodopsin เมื่อมีแสงเข้ามาวิตามินเอจะเปลี่ยนรูปจาก cis เป็น trans และแยกออกจาก Opsin โดย Opsin ที่ถูกกระตุ้นให้แยกออกมานี้จะไปเหนี่ยวนำให้ระดับแคลเซียมใน rod cells สูงขึ้น และทำให้ cGMP (Cyclic guanosine monophosphate) ต่ำลง ส่งผลทำให้ช่องโซเดียมปิด หยุดการส่งสัญญาณของ rod cells ลง (ในภาวะที่ไม่มีแสงช่องโซเดียมจะเปิดออก ยอมให้โซเดียมจากภายนอกไหลเข้าเซลล์เกิด depolarization ภายในเซลล์ส่งสัญญาณเหนี่ยวนำให้ปลายประสาทส่งสารสื่อประสาทประเภท IPSP (inhibitory postsynaptic potential) ทำให้เซลล์ประสาทตัวถัดไปเกิด hyperpolarization และไม่มีการส่งสัญญาณต่อไปยังสมอง)

ในการมองวัตถุในระยะทางต่างๆกัน ในความมืดหรือสว่างต่างกัน เมื่อเริ่มมองในช่วงแรกนั้น การมองเห็นภาพจะยังไม่ค่อยชัดเจน ในระยะต่อมานัยน์ตาจะสามารถปรับสภาพ ให้เข้ากับระยะทางของวัตถุหรือแสงสว่างที่มีอยู่ ทำให้ภาพมีความชัดเจนมากขึ้น โดยเป็นการปรับให้ภาพตกบน retina พอดี และทำให้ความเข้มของแสงเข้าสู่ดวงตาได้อย่างพอดี เรียกกระบวนการปรับสถาพการณ์ของตานี้ว่า Accommodation ซึ่งเกิดจากการปรับตัวของเลนส์ ให้เพิ่มหรือลดส่วนโค้ง โดยอาศัย Ciliary muscle เพื่อให้แสงเข้าและเกิดการหักเหได้ตามความต้องการ




รูปที่ 15-6 (a) ภาพแสดงตัวรับแสง photoreceptors (b) เนื้อเยื่อของ retina แสดงชั้น layer ของ rod และ cone cells

**ความผิดปกติของการมองเห็น (Disorders of the Visual system)**

1. Color blindness ตาบอดสี เกิดจากเซลล์รูปกรวยที่รับสีแดง สีเขียว หรือสีน้ำเงินมีความผิดปกติ

2. Night blindness ตาบอดกลางคืน เกิดจากร่างกายขาดวิตามนเอ ทำให้ปริมาน rhodopsin ในเรตินาต่ำ

3. Myopia สายตาสั้น ส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากกระบอกตายาวเกินไป ในขณะที่ส่วนน้อยเกิดจากการที่ lens และ cornea รวมแสงแล้วไม่ถึง retina ทำให้โฟกัสของแสงตกก่อนถึงเรตินา มองเห็นไม่ชัด แกไขโดยเลนส์เว้า

4. Hypermetropia สายตายาว เกิดเนื่องจากกระบอกตาสั้นกว่าปกติ หรือ lens และ cornea แบน ทำให้โฟกัสของแสงตกยาวเกินเรตินา การแก้ไขต้องใช้เลนส์นูนช่วย เพื่อรวมแสงให้สั้นเข้า

5. Astigmatism สายตาเอียง เป็นภาวะที่มองเห็นภาพไม่ชัดเจน เนื่องจากส่วนโค้งของ cornea หรือ lens ไม่สม่ำเสมอ ทำให้การหักเหของแสงตามแนวต่างๆ ไม่เท่ากัน การแก้ไขทำได้โดยใช้แว่นกาบกล้วยหรือเลนส์ทรงกระบอก (Cylindrical lens) เพื่อทำให้อำนาจการหักเหของแสงทุกแนวเท่ากันได้

6. Cataracts ต้อกระจก เกิดจากการเสื่อมหรือผิดปกติของเลนส์ ทำให้มีความขุ่นมัวของเลนส์มากขึ้น จากการที่โปรตีนองค์ประกอบมีการเปลี่ยนแปลงไป โรคนี้มักพบในผู้สูงอายุ โดยมีสาเหตุมาจากการบาดเจ็บ การได้รับแสง UV มากเกินไป การได้รับสารบางชนิดอย่างต่อเนื่อง เช่น steroid หรือการเป็นโรคบางชนิด เช่น เบาหวาน เป็นต้น สามารถแก้ไขได้โดยการผ่าตัดเพื่อใส่เลนส์ตาเทียม

7. Glaucoma ต้อหิน พบมากในผู้ที่มีอายุมากกว่า 40 ปี สาเหตุเกิดจากการที่มีแรงดันภายในลูกตามากเกินไป โดยเฉพาะในบริเวณ anterior chamber ของช่องลูกตา เกิดแรงดันทำให้เลนส์ตาไปชิดกับ vitreous body ใน vitreous chamber ส่งผลกระทบต่อเซลล์ประสาทในชั้น retina

## หูและการได้ยิน/การทรงตัว
## (Sense of hearing and equilibrium)

อวัยวะเกี่ยวกับการได้ยินและการทรงตัวประกอบด้วยหูและประสาทรับความรู้สึก โดยโครงสร้างของหูประกอบด้วย 3 ส่วนคือ หูชั้นนอก (external ear), หูชั้นกลาง (middle ear) และหูชั้นใน (inner ear)

1. หูชั้นนอกประกอบด้วย

1.1 ใบหู (pinna หรือ auricle) เป็นกระดูกอ่อนยืดหยุ่นได้ ส่วนล่างมีติ่งหูประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและไขมัน เรียกว่า lobule ใบหูมีประโยชน์สำหรับรับและรวบรวมกระแสคลื่นเสียงให้ผ่านเข้าไปในรูหู

1.2 ช่องหูหรือรูหู (auditory canal) มีลักษณะเป็นช่องเข้าไปในกระดูกขมับ (temporal bone) ยาวประมาณ 1 นิ้ว ช่องนี้มีลักษณะคล้ายตัว S มีขนและต่อมขี้หู (Ceruminous glands) ซึ่งเป็นต่อมที่เปลี่ยนแปลงมาจากต่อมเหงื่อ ทำหน้าที่ขับขี้หู (Cerumen or Ear wax) มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง เป็นเครื่องป้องกันสิ่งแปลกปลอมไม่ให้ผ่านเข้าไปในรูหูได้ง่าย

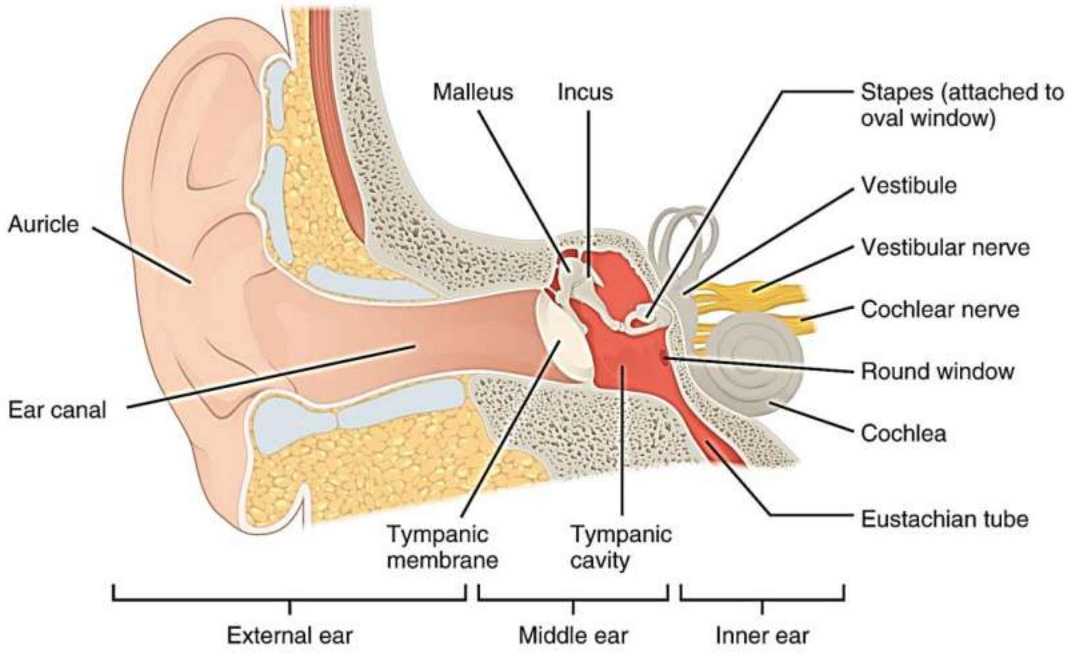
1.3 ระหว่างหูชั้นนอกและหูชั้นกลาง จะมีเยื่อแก้วหู (ear drum หรือ tympanic membrane)

2. หูชั้นกลาง เป็นช่องเล็กๆ เริ่มตั้งแต่เยื่อแก้วหูไปจนถึงหูชั้นใน ภายในช่องหูนี้บุด้วย Mucous membrane ด้านล่างจะมีท่อเล็กๆเป็นส่วนที่ติดต่อกับโพรงจมูกและลำคอบริเวณคอหอยส่วนบน (Nasopharynx) เรียกว่า Eustachian tube เป็นทางสำหรับให้อากาศเข้าและออกจากหูเพื่อปรับให้ความดันภายในช่องหูส่วนกลางเท่ากับความดันของอากาศภายนอก ปกติช่องหูนี้จะปิดอยู่เสมอ นอกจากเวลาหาว จามหรือกลืน ดังนั้นหากมีการอักเสบที่จมูก หรือหลอดคอ อาจลุกลามไปถึงหูชั้นกลางได้

ภายในหูชั้นกลางมีกระดูกเล็กๆ 3 ชิ้น เรียกว่า Ossicles ช่วยในการขยายเสียง ได้แก่ กระดูกค้อน (malleus/hammer), ทั่ง (incus/anvil) และโกลน (stapes/stirrup) โดยที่กระดูกค้อนจะวางติดกับเยื่อแก้วหู กระดูกทั่งอยู่กลาง และกระดูกโกลนจะอยู่ติดต่อกับช่องหน้าต่างเล็กๆ รูปไข่ (oval window หรือ fenestra vestibuli) ซึ่งเชื่อมติดกับหูชั้นใน

3. หูชั้นใน ประกอบด้วยประสาทที่เกี่ยวกับการได้ยินและการทรงตัวของร่างกาย รวมเรียกว่า Labyrinth ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ auditory apparatus ซึ่งได้แก่ cochlea และอีกส่วน คือ vestibular apparatus ได้แก่ semicircular canals, utricle และ saccule ทำหน้าที่เกี่ยวกับการทรงตัวของร่างกาย

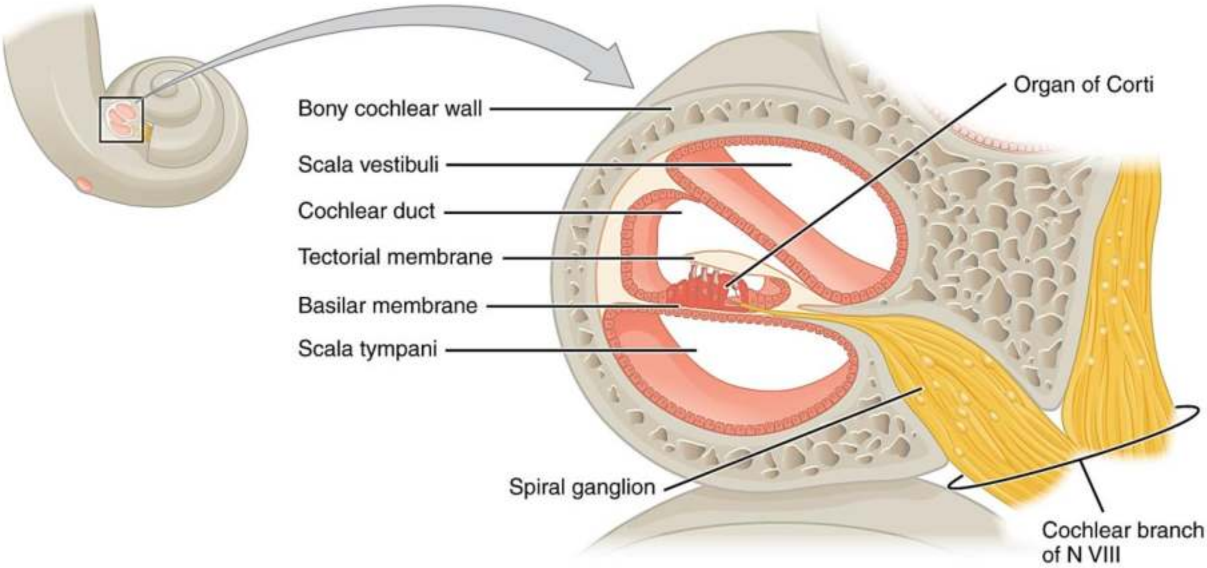
Cochlea มีลักษณะเป็นท่อขดรูปก้นหอย ประกอบด้วย 3 ท่อที่แยกจากกันแต่วางขนานกัน ภายใน Cochlea จะบุด้วย membranous ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อเรียกว่า scala media หรือ Cochlea duct ท่อนี้จะแบ่ง Cochlea ออกเป็น 2 ช่อง คือ ช่องบนเรียกว่า scala vestibuli และช่องล่างเรียกว่า scala tympani ระหว่าง 2 ท่อแรกจะมีเยื่อ Reisser's membrane (Vestibular membrane) กั้นอยู่และระหว่างท่อที่ 2 กับ 3 จะมีเยื่อ basilar membrane กั้นอยู่ ทั้ง 3 ท่อมีของเหลว (endolymph) บรรจุอยู่ภายใน บน basilar membrane นี้มีโครงสร้าง sense organ ของการได้ยินที่เรียกวา Organ of Corti มีลักษณะเป็น Rod shaped cells ซึ่งมีเซลล์ขน (hair cells) จำนวนมากทำหน้าที่รับคลื่นเสียง ด้านบนของ Organ of Corti จะมี tactorial membrane



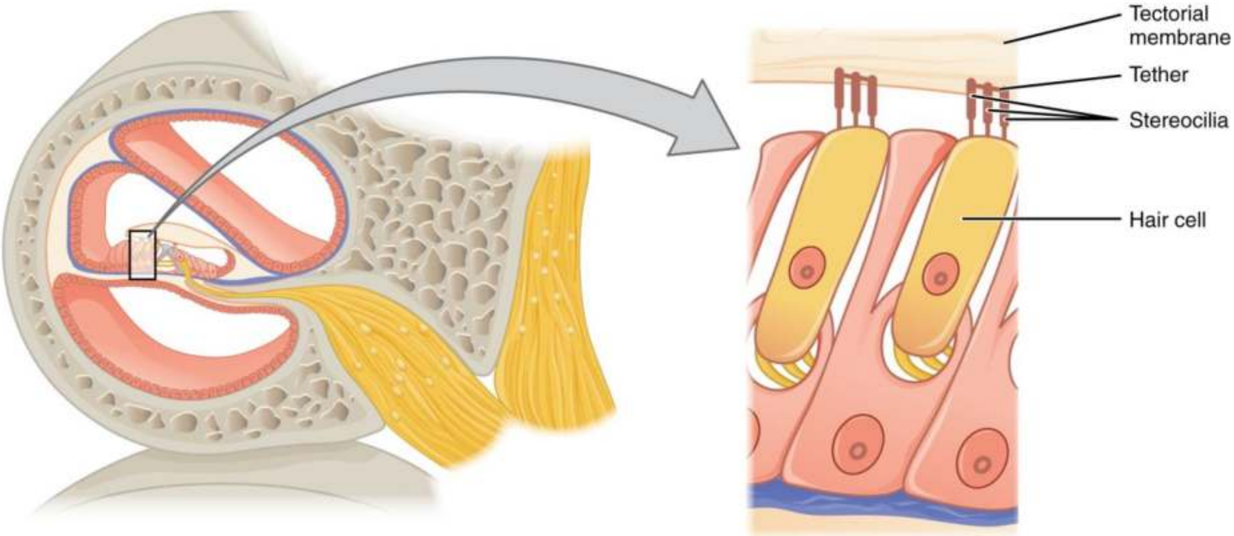

รูปที่ 15-7 ภาพแสดงองค์ประกอบของหูชั้นนอก ชั้นกลางและชั้นใน

**กลไกของการได้ยิน**

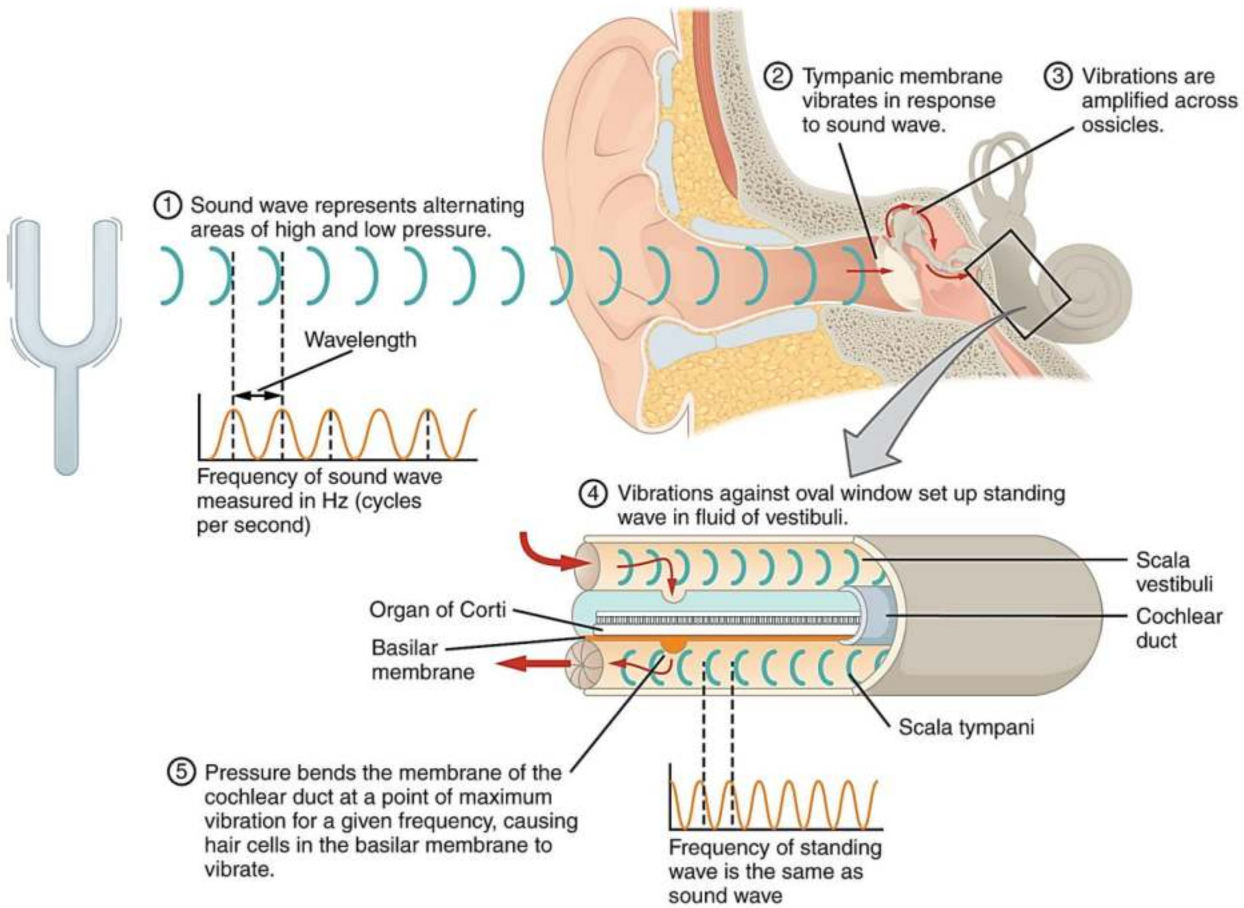
เมื่อคลื่นเสียงผ่านเข้ามาทางใบหู รูหู กระทบกับเยื่อแก้วหู จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (vibration) และไปกระทบกับกระดูกหูทั้ง 3 ชิ้น กระดูกหูจะทำหน้าที่ลดคลื่นเสียงให้น้อยลง แล้วถ่ายคลื่นเสียงไปยัง oval window ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ cochlea สั่นสะเทือน และเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันภายใน scala vestibuli ซึ่งจะสั่นสะเทือนทำให้เกิดคลื่นของเหลว (endolymph) ขึ้นในท่อ scala vestibuli และถูกถ่ายทอดผ่านเยื่อ vestibular membrane เข้าไปใน scala media เกิดการสั่นสะเทือนของ basilar membrane และเกิดการเคลื่อนไหวของ tactorial membrane ทำให้ hair cells ของ Organ of Corti โค้งงอไปมา เกิดการส่งสัญญาณประสาทผ่านไปทาง Cochlear nerve และส่งต่อไปยังประสาทสมองคู่ที่ 8 (Auditory nerve or Acoustic nerve) เข้าสู่สมองส่วน Auditory area




รูปที่ 15-8 ภาพแสดง Cochlea และโครงสร้างของ organ of Corti




รูปที่ 15-9 ภาพแสดง Hair cell




รูปที่ 15-10 ภาพแสดง กลไกของการได้ยิน

**การทรงตัว (Equilibrium)**

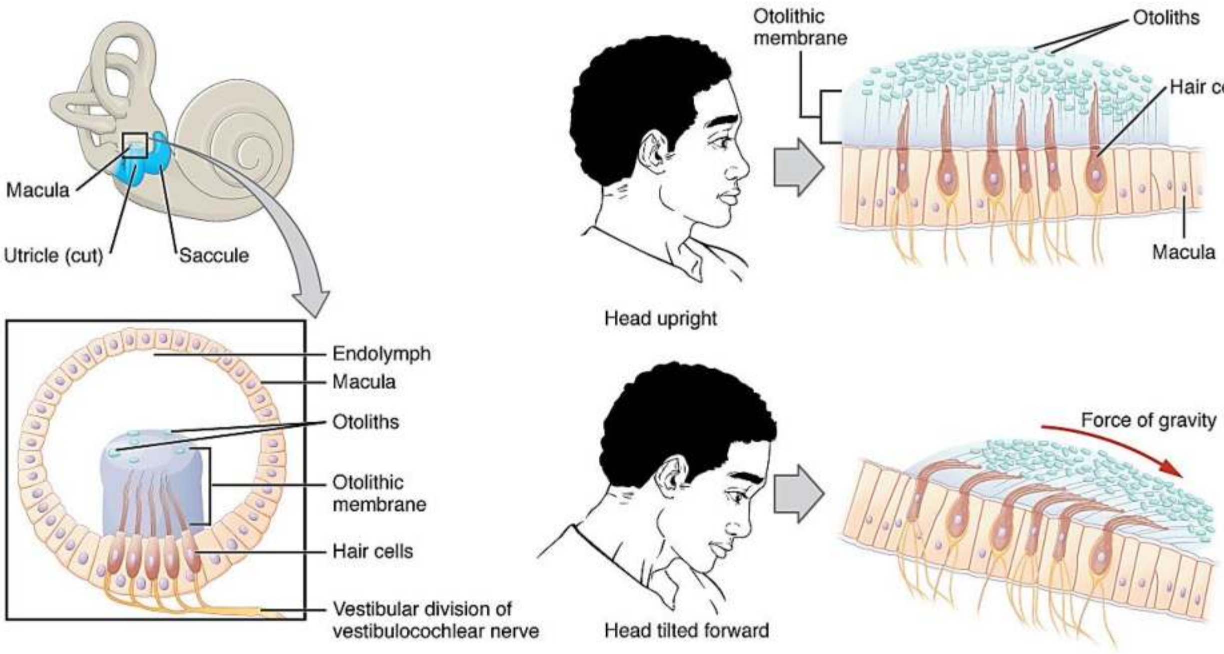
การทรงตัวจะเกี่ยวข้องกับหูชั้นในเพราะมี receptors อยู่ที่บริเวณ Vestibular และ Semicircular canal ที่มี hair cells ติดต่อกับ vestibular nerve และมี endolymph บรรจุอยู่ภายในซึ่งจะไหลไปกระตุ้น Sensory hair cells ทำให้เกิดกระแสประสาทขึ้นไปตาม vestibular nerve เข้าสู่ Acoustic nerve ไปสู่สมองส่วน Cerebellum ทำให้เกิดความรู้สึกเกี่ยวกับการทรงตัวของร่างกาย

โดย Semicircular canal จะทำหน้าที่รับรู้เมื่อมีการเคลื่อนไหวของร่างกาย มีลักษณะเป็นท่อโค้ง กระดูกอ่อนครึ่งวงกลม 3 ท่อ คือ superior semicircular duct, posterior semicircular duct และ lateral semicircular duct วางตัวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ภายในบรรจุ endolymph ปลายข้างหนึ่งของท่อจะพองออกเป็นกระเปาะที่ภายในมีตัวรับความรู้สึกพิเศษเรียกว่า crista ampullaris และมี hair cells ซึ่งจะติดต่อกับเส้นประสาทนำเข้า (afferent nerve fiber) และไปที่ vestibular nerve ซึ่งจะต่อไปยังระบบประสาทส่วนกลาง

utricle และ saccule เป็นถุงเล็กๆ ภายในมีของเหลวข้น เรียกว่า endolymph ที่ผนังด้านในประกอบด้วย hair cells มีเส้นใยประสาท ซึ่งแยกมาจากเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 (Auditory nerve) ไปเลี้ยง มีศูนย์ควบคุมอยู่ที่ด้านข้างของ temporal lobe

utricle และ saccule มีหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมสมดุลในขณะอยู่กับที่ (static equilibrium) ทำให้ศีรษะและร่างกายตั้งตรงได้ขณะอยู่นิ่ง โครงสร้างของ utricle และ saccule ประกอบด้วย macula ซึ่งจะมีเซลล์ขนฝังตัวอยู่ในเยื่อที่มีลักษณะคล้ายวุ้นเรียกว่า Otolithic membrane เหนือเยื่อนี้มีผลึกหินปูน calcium carbonate crystals เรียกว่า statolith หรือ otoconia อยู่เป็นจำนวนมาก ภายใน utricle และ saccule มี endolymph บรรจุ

อยู่ saccule จะถูกกระตุ้นเมื่อมีการเอียงศีรษะ สวน utricle จะถูกกระตุ้นเมื่อมีการก้มหรือเงยศีรษะ โดยที่กระแสประสาทจะถูกส่งเข้าเส้นประสาท vestibular ซึ่งจะไปรวมกับเส้นประสาทจาก cochlea เกิดเป็นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 (Auditory nerve) ไปสู่ก้านสมองและเข้าสู่ cerebellum ซึ่งจะส่งสัญญาณไปยังกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องต่อไป




รูปที่ 15-11 ภาพแสดงกลไกของการทรงตัว

**ความผิดปกติของการได้ยินและการทรงตัว (Disorders of the Hearing and Equilibrium)**

1. Deafness เป็นโรคที่สูญเสียการได้ยิน เกิดจากหลายสาเหตุ เช่น เกิดการทำลายของเซลล์ใน Cochlea หรือเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 เรียกว่า “sensorineural deafness” สาเหตุจากการแข็งตัวของหลอดเลือด (atherosclerosis) ทำให้เซลล์ใน cochlea ได้รับเลือดไปเลี้ยงไม่เพียงพอ นอกจากนี้การได้รับเสียงที่ดังมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการทำลาย hair cells ส่วนการได้รับยาบางชนิด เช่น aspirin หรือ streptomycin ก็สามารถทำให้เกิดการทำลายได้เช่นกัน การสูญเสียการได้ยินอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า “conduction deafness” มีสาเหตุมาจากความผิดปกติของหูชั้นนอกและชั้นกลาง มีผลทำให้การส่งผ่านคลื่นเสียงได้น้อยลงหรือไม่ได้เลย โดยสาเหตุอาจเกิดจากการมีกระดูกงอกปิดบริเวณ oval window เรียกว่า “otosclerosis” นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการที่ขี้หูจับตัวกันแน่นจนเกิดการบาดเจ็บต่อเยื่อแก้วหูหรือความผิดปกติของข้อต่อระหว่างกระดูกหู เป็นต้น

2. Otitis media เป็นโรคที่เกิดจากการติดเชื้อภายในหูชั้นกลาง สาเหตุอาจเกิดจากเชื้อแบคทีเรียที่ลุกลามมาจากจมูกหรือลำคอ คนไข้มักมีอาการเจ็บ อ่อนเพลีย มีไข้ และมีเยื่อแก้วหูเป็นสีแดง ถ้าไม่รักษาเยื่อแก้วหูอาจถูกทำลายได้ นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมากจากเชื้อแบคทีเรียบริเวณคอหอยส่วนจมูก (nasopharynx) ผ่านไปตาม auditory tube เข้าสู่หูชั้นกลางทำให้เกิดการติดเชื้อ (พบในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่เนื่องจากเด็กมี auditory tube ที่สั้นกว้าง และวางตัวในแนวขวางมากกว่าผู้ใหญ่)

***************************************

**เอกสารอ้างอิง**

บังอร ฉางทรัพย์. (2556). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 7).กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
รำแพน พรเทพเกษมสันต์. (2556). *กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์.* (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ:

ศิลปาบรรณาคาร.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิต และมนตกานต์ ตันสถิต. (2539). *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์.* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เฟื่องฟ้า พรินติ้ง.

Biga, L. M., Dawson, S., Harwell, A., Hopkins, R., Kaufmann, J., LeMaster, M., ... & Runyeon, J. (2020). Anatomy & physiology. OpenStax & Oregon State University.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

-------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบต่อมไร้ท่อ
(Anatomy and Physiology of Endocrine system)

**จำนวนชั่วโมง** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบต่อมไร้ท่อ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
2. บอกหน้าที่โดยทั่วไปของฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
3. บอกประเภทและคุณสมบัติของฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายกลไกการควบคุมการหลั่งฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายวิธีการขนส่งฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายความผิดปกติของต่อมไร้ท่อได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายบทบาทของไฮโปทาลามัสในการควบคุมระบบต่อมไร้ท่อได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายกายวิภาคของต่อมใต้สมองส่วนหน้าได้อย่างถูกต้อง
9. บอกชื่อฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าได้อย่างถูกต้อง
10. บอกหน้าที่ของฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายกายวิภาคของต่อมใต้สมองส่วนหลังได้อย่างถูกต้อง
12. บอกชื่อฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหลังได้อย่างถูกต้อง
13. บอกหน้าที่ของฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหลังได้อย่างถูกต้อง
14. บอกหน้าที่ของไทรอยด์ฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
15. อธิบายการควบคุมการหลั่งไทรอยด์ฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
16. บอกภาวะความผิดปกติของไทรอยด์ฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
17. บอกหน้าที่ของพาราไทรอยด์ฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
18. บอกภาวะความผิดปกติของพาราไทรอยด์ฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
19. อธิบายกายวิภาคของต่อมหมวกไตได้อย่างถูกต้อง
20. บอกชื่อและหน้าที่ของต่อมหมวกไตได้อย่างถูกต้อง

21. บอกภาวะความผิดปกติของฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมหมวกไตได้อย่างถูกต้อง
22. บอกหน้าที่ของฮอร์โมนอินสุลินได้อย่างถูกต้อง
23. บอกความผิดปกติในการหลั่งฮอร์โมนอินสุลินได้อย่างถูกต้อง
24. บอกชื่อและหน้าที่ฮอร์โมนสร้างจากต่อมไทมัสได้อย่างถูกต้อง
25. บอกชื่อและหน้าที่ฮอร์โมนสร้างจากต่อมไพนีลได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 16

***************************************

# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบต่อมไร้ท่อ
# (Anatomy and Physiology of Endocrine system)

**ตอนที่ 1 บทนำระบบต่อมไร้ท่อ**

1.1 ลักษณะทั่วไปของการทำงานของต่อมไร้ท่อ
1.2 ต่อมในร่างกายมนุษย์
1.3 ชนิดของต่อมไร้ท่อ
1.4 ความหมายของฮอร์โมน
1.5 หน้าที่โดยทั่วไปของฮอร์โมน
1.6 ประเภทและคุณสมบัติของฮอร์โมน
1.7 การควบคุมการหลั่งฮอร์โมน
1.8 การขนส่งฮอร์โมน
1.9 ความผิดปกติของต่อมไร้ท่อ

**ตอนที่ 2 ไฮโปทาลามัส (Hypothalamus)**

2.1 ควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ
2.2 Hypothalamo-pituitary-target endocrine gland axis

**ตอนที่ 3 ต่อมใต้สมอง หรือ ต่อมพิทูอิทารี (Pituitary gland, Hypophysis cerebri)**

3.1 ต่อมใต้สมองส่วนหน้า (Adenohypophysis)
3.2 ต่อมใต้สมองส่วนหลัง (Neurohypophysis)

**ตอนที่ 4 ต่อมไทรอยด์ (Thyroid gland)**

**ตอนที่ 5 ต่อมพาราไทรอยด์ (Parathyroid Glands)**

**ตอนที่ 6 ต่อมหมวกไต (Adrenal Glands, Suprarenal Glands)**

**ตอนที่ 7 ตับอ่อน (Pancreas)**

**ตอนที่ 8 ต่อมไทมัส (Thymus gland)**

**ตอนที่ 9 ต่อมไพนีล (Pineal gland)**

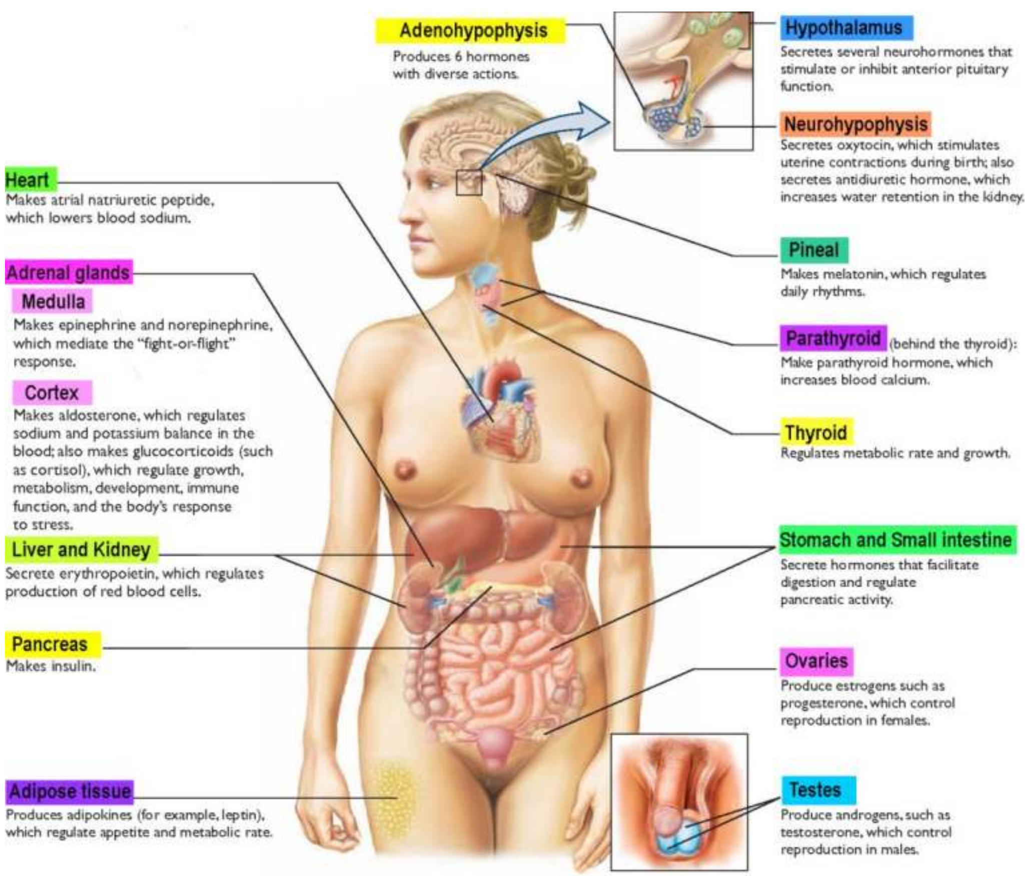
# บทที่ 16
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบต่อมไร้ท่อ
# (Anatomy and Physiology of the Endocrine system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

## ตอนที่ 1
## บทนำระบบต่อมไร้ท่อ

### 1.1 ลักษณะทั่วไปของการทำงานของต่อมไร้ท่อ

ระบบต่างๆ ของร่างกายมีการทำงานเชื่อมโยงประสานกัน เพื่อให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และรักษาสภาวะแวดล้อมภายในให้คงที่อยู่ในสภาวะสมดุล (homeostasis) ร่างกายมนุษย์จึงได้พัฒนาระบบประสานงานของอวัยวะต่างๆ ขึ้นมา 2 ระบบ ได้แก่ ระบบระบบประสาท (nervous system) และระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system)




รูปที่ 16-1 แสดงต่อมไร้ท่อในร่างกายมนุษย์

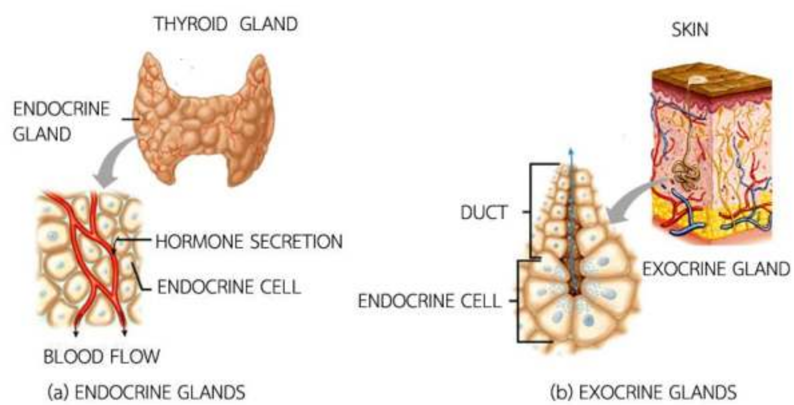
ระบบประสาท มีการส่งข่าวสารไปยังเซลล์เป้าหมายโดยผ่านทางเซลล์และเส้นใยประสาทโดยการหลั่งสารสื่อประสาท มีลักษณะการทำงานที่รวดเร็ว (rapid action) แต่ให้ผลไม่นาน และเป็นการส่งข่าวสารแบบเฉพาะเจาะจง (specific action) ส่วนระบบต่อมไร้ท่อ เป็นระบบสื่อสารภายในร่างกายทำหน้าที่ควบคุมเชื่อมโยงประสานการทำงานของระบบต่างๆ ภายในร่างกายเพื่อดำรงไว้ซึ่งสภาวะภายในให้คงที่ (homeostasis) มีลักษณะการทำงานที่ค่อนข้างช้า แต่มีผลการทำงานอยู่ได้นาน การศึกษาระบบควบคุมที่มีกลไกการทำงานร่วมกันของทั้งระบบประสาทและระบบต่อมไร้ท่อ เรียกว่า **Neuroendocrinology**

## 1.2 ต่อมในร่างกายมนุษย์

ประกอบด้วยต่อม 2 ชนิด ได้แก่ exocrine glands (ต่อมมีท่อ) และ endocrine glands (ต่อมไร้ท่อ)

**1.2.1 Exocrine glands (ต่อมมีท่อ)** หลั่งสารที่สร้างเข้าสู่ท่อ นำไปเปิดเข้าสู่ช่องโพรงภายในร่างกาย หรือหลั่งออกสู่ภายนอก เช่น ต่อมเหงื่อ (sweat glands) ต่อมไขมัน (sebaceous glands) ต่อมหลั่งมูก (mucous glands) และต่อมในระบบย่อยอาหาร (digestive glands)

**1.2.2 Endocrine glands (ต่อมไร้ท่อ)** ต่อมประกอบด้วยเซลล์หรือกลุ่มเซลล์ สามารถสร้างและหลั่งฮอร์โมนเข้าสู่ช่องว่างนอกเซลล์ ก่อนแพร่เข้าสู่ระบบไหลเวียน แล้วไปยังอวัยวะเป้าหมายทั่วร่างกาย




รูปที่ 16-2 แสดงความแตกต่างของต่อม (a) ต่อมไร้ท่อ : การหลั่งไทรอยด์ฮอร์โมนเข้าสู่กระแสเลือด และ (b) ต่อมมีท่อ : การหลั่งเหงื่อจากต่อมเหงื่อออกสู่ผิวหนัง

## 1.3 ชนิดของต่อมไร้ท่อ

โดยทั่วไป ต่อมไร้ท่อแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

**1.3.1 ชนิดที่เป็นต่อมไร้ท่ออยู่เดี่ยวๆ** ได้แก่ ต่อมใต้สมอง (Pituitary gland) ต่อมไทรอยด์ (Thyroid gland) ต่อมพาราไทรอยด์ (Parathyroid gland) ต่อมหมวกไต (Suprarenal หรือ Adrenal gland) ต่อมไพนีล (Pineal gland) และต่อมไทมัส (Thymus gland)

**1.3.2 ชนิดที่พบอยู่ร่วมกับต่อมมีท่อ** ได้แก่ Islets of Langerhans ในตับอ่อน, รังไข่ (Ovary) อัณฑะ (Testis) รก (Placenta) ไต (Kidney)

**1.3.3 ชนิดที่เป็นเซลล์กระจายอยู่ตามอวัยวะต่างๆ** เรียกว่า diffuse neuroendocrine glands ซึ่งเป็นเซลล์ที่กระจายแทรกอยู่ในอวัยวะต่างๆ เช่น เนื้อบุผิวทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ ไตและทางเดินปัสสาวะ กลุ่มเซลล์ในสมอง

ส่วนไฮโปทาลามัส หรือเซลล์ที่คารอติด บอดี (carotid bodies) เซลล์เหล่านี้สามารถสร้างและหลั่งสารเคมี ทำหน้าที่เป็นฮอร์โมนหรือสารสื่อประสาทได้

## 1.4 ความหมายของฮอร์โมน

ฮอร์โมน (hormone) คือ สารเคมีที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลข่าวสารที่สร้างขึ้น จากกลุ่มเซลล์ในต่อมไร้ท่อ (endocrine gland) แล้วส่งไปตามกระแสเลือด ไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย เพื่อกระตุ้น หรือยับยั้งกระบวนการต่างๆ ในเซลล์ หรืออวัยวะเป้าหมาย (target cells หรือ target organ) ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการต่างๆ ในร่างกายหลายอย่างเช่น ช่วยในการเจริญเติบโต ช่วยให้มนุษย์สามารถสืบพันธุ์ เป็นต้น

## 1.5 หน้าที่โดยทั่วไปของฮอร์โมน

ฮอร์โมนเป็นสารเคมีที่สร้างและหลั่งจากเซลล์หรือกลุ่มเซลล์จำเพาะในต่อมไร้ท่อ มีปริมาณเพียงเล็กน้อย สารเหล่านี้ออกฤทธิ์กระตุ้นหรือยับยั้งกระบวนการบางอย่างที่เซลล์เป้าหมาย (target cells) อาจเป็นเซลล์ที่หลั่งฮอร์โมนนั้นเอง (autocrine function) เซลล์ที่อยู่ข้างเคียง (paracrine function) เซลล์ที่อยู่ไกลออกไป (endocrine function) โดยการเข้าจับกับกับตัวรับฮอร์โมน (receptor) โดยทั่วไปแล้วฮอร์โมนมีหน้าที่สำคัญ 4 ประการ ได้แก่

**1.5.1 การสืบพันธ์** ฮอร์โมนช่วยควบคุมการเจริญและการเปลี่ยนแปลงตามวัยของอวัยวะเพศ การผลิตไข่และอสุจิ พฤติกรรมทางเพศ ลักษณะที่บ่งบอกเพศ ตลอดจนกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อการสืบพันธ์ ได้แก่ แอนโดรเจน (androgen) เอสโตรเจน (estrogen) โปรเจสเตอโรน (progesterone) ฟอลลิเคิล สติมูเลติ้งฮอร์โมน (follicle stimulating hormone) ลูทีไนซิ่งฮอร์โมน (luteinizing hormone) เป็นต้น

**1.5.2 การเจริญเติบโตพัฒนาการของร่างกาย** การเจริญเติบโตของร่างกายโดยรวม หรือการเจริญของเนื้อเยื่อแต่ละชนิดอาศัยฮอร์โมนหลายชนิด เช่น โกรทฮอร์โมน (growth hormone) ไทรอยด์ฮอร์โมน (thyroid hormone) อินซูลิน (insulin) กลูโคคอติคอยด์ (glucocorticoid) เป็นต้น โดยอาจมีผลโดยตรงหรือโดยอ้อม

**1.5.3 รักษาสภาวะภายในร่างกายให้คงที่** สภาวะหลายอย่างในร่างกายอาศัยการทำงานของฮอร์โมนหลายชนิดเพื่อรักษาไว้ให้คงที่ เช่น แอนติไดยูเรติก ฮอร์โมน (antidiuretic hormone, ADH) ช่วยควบคุมการขับน้ำออกที่ไต อัลโดสเตอโรน (aldosterone) ช่วยควบคุมการขับถ่ายโซเดียมและโปตัสเซี่ยมที่ไต พาราไทรอยด์ฮอร์โมน (parathyroid hormone) วิตามินดี 3 และแคลซิโตนิน (calcitonin) ช่วยควบคุมความเข้มข้นของแคลเซี่ยมและฟอสเฟตในเลือด ตลอดจนแคลเซี่ยมในกระดูก เป็นต้น

**1.5.4 การสร้างและใช้พลังงาน** มนุษย์มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเคมีของอาหารให้เป็น พลังงานที่จะนำมาใช้ได้ทันที เช่น สลายกลูโคสได้ ATP หรืออาจเก็บสะสมไว้ใช้ในภายหลังก็ได้ กลูโคสที่มากเกินจะถูกเก็บไว้ในรูปของไกลโคเจนและไขมัน ภายใต้อิทธิพลของอินซูลิน แต่ในช่วงที่ระดับกลูโคสในเลือดลดลง ไกลโคเจนและไขมันที่เก็บไว้จะถูกสลายภายใต้อิทธิพลของกลูคากอนและฮอร์โมนอื่นๆ เช่น เอพิเนฟรีน คอร์ติซอล และโกรทฮอร์โมน

## 1.6 ประเภทและคุณสมบัติของฮอร์โมน

ฮอร์โมนเป็นสารเคมี ออกฤทธิ์โดยการกระตุ้นหรือยับยั้งกระบวนการบางอย่างในเซลล์เป้าหมายที่อยู่ข้างเคียง เรียกว่า **autocrine function** หรือเซลล์ที่อยู่ข้างเคียง เรียกว่า **paracrine function** หรือถูกพาไปโดยกระแสเลือดเพื่อออกฤทธิ์ต่อเซลล์เป้าหมายที่อยู่ไกลออกไป เรียกว่า **endocrine function** และถ้าฮอร์โมนถูกสร้างโดยเซลล์ประสาทแล้วเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือด เรียกว่า **neurocrine function**

ฮอร์โมนแบ่งได้เป็นประเภทต่างๆ ตามคุณสมบัติทางเคมีได้ 4 ชนิด ได้แก่

**1.6.1 เปปไทด์ฮอร์โมน (Peptide hormone) หรือ โปรตีนฮอร์โมน (protein hormone)** เป็นประเภทที่พบมากที่สุด โครงสร้างประกอบด้วยกรดอะมิโนมาเรียงต่อกันด้วย peptide chain เช่น ฮอร์โมนที่สร้างจากไฮโปทาลามัส ต่อมพิทูอิทารี ตับอ่อน และต่อมพาราไทรอยด์ โปรตีนฮอร์โมนบางชนิดมีคาร์โบไฮเดรทเป็นส่วนประกอบของโมเลกุล เรียกว่า ไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ได้แก่ ฮอร์โมนโกนาโดโทรปินส์ (LH, FSH, HCG) และไทโรโทรปินส์ (TSH) เปปไทด์ฮอร์โมนมีคุณสมบัติสำคัญ เช่น สร้างและถูกเก็บไว้ในต่อมที่สร้างในถุง (vesicles) ขนส่งทางกระแสเลือดโดยไม่จับกับโปรตีนตัวพา ระดับของฮอร์โมนไม่คงที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว มีอายุครึ่งชีวิตสั้นประมาณ 5-10 นาที ละลายน้ำได้ดีแต่ไม่ละลายในไขมัน จึงไม่สามารถแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ที่มีโครงสร้างเป็นไขมันได้ ต้องมีตัวรับที่ผนังเซลล์

**1.6.2 สเตียรอยด์ฮอร์โมน (Steroid hormone)** สังเคราะห์จากสารตั้งต้น คือ โคเลสเตอรอล ได้แก่ ฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมหมวกไต รังไข่ และอัณฑะ สเตียรอยด์ฮอร์โมนมีคุณสมบัติสำคัญ เช่น ไม่เก็บไว้ในต่อมที่สร้าง เมื่อสร้างเสร็จแล้วจะถูกหลั่งออกทันที ขนส่งทางกระแสเลือดโดยจับกับโปรตีนตัวพาจำเพาะ ระดับของฮอร์โมนในเลือดค่อนข้างคงที่ อายุครึ่งชีวิตนานกว่าเปปไทด์ฮอร์โมน และเป็นฮอร์โมนที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในไขมันได้ดีจึงสามารถผ่านเยื่อผนังเซลล์เข้าไปจับกับตัวรับที่อยู่ภายในเซลล์ (cytoplasmic receptor) หรือที่นิวเคลียส (nuclear receptor)

**1.6.3 เอมีนฮอร์โมน (Amines hormone)** สร้างจากกรดอะมิโน tyrosine ฮอร์โมนในกลุ่มนี้ ได้แก่ แคทีโคลามีน (catecholamine) และไทรอกซีน (thyroxine) บางชนิดเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน ชื่อ tryptophan ได้แก่ เมลาโตนิน (melatonin) เอมีนฮอร์โมนมีคุณสมบัติสำคัญ เช่น สร้างและถูกเก็บไว้ในต่อมที่สร้างในถุง (vesicles) ขนส่งทางกระแสเลือดบางชนิด เช่น บางชนิดต้องจับกับโปรตีนตัวพาเฉพาะ ได้แก่ ไทรอกซีน ในขณะที่แคทีโคลามีน ไม่พึ่งพาโปรตีนตัวพา ระดับของฮอร์โมนไม่แน่นอนมีระดับสูงๆ ต่ำๆ ละลายน้ำได้ดี ออกฤทธิ์ได้ทั้งที่ยีนส์และที่อื่น ๆ

**1.6.4 เอโคซานอยด์ (Eicosanoids)** เป็นอนุพันธ์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ฮอร์โมนกลุ่มนี้ได้แก่ พรอสตาแกลนดิน (prostaglandin) ธรอมบ็อกแซน (thromboxane) ลิวโกไทรอีน (leukotriene) เมื่อหลั่งออกมา ฮอร์โมนจะมีผลต่ออวัยวะใกล้เคียง แต่จำนวนที่ผลิตออกมาจะไม่มาก และจะไม่สร้างเก็บไว้ จะสร้างก่อนการใช้งานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจะหยุดการทำงานอย่างรวดเร็ว

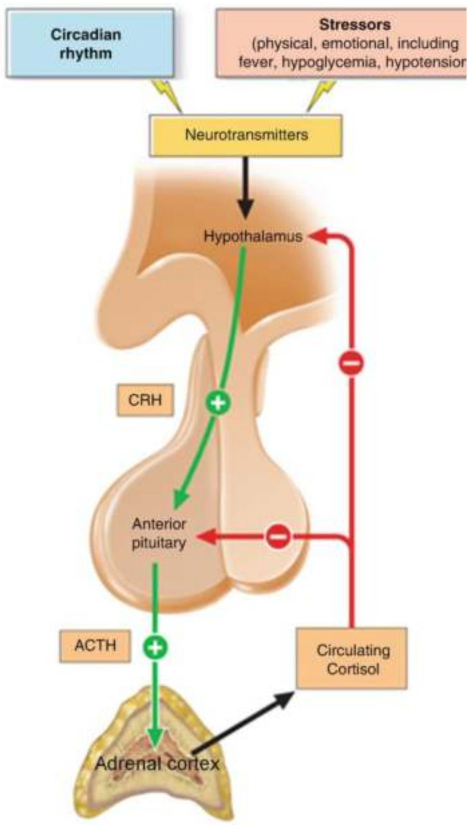
## 1.7 การควบคุมการหลั่งฮอร์โมน

ปกติต่อมไม่ได้หลั่งฮอร์โมนด้วยอัตราคงที่ตลอดเวลา แต่มีอัตราการหลั่งพื้นฐานมีลักษณะขึ้นๆ ลงๆ เป็นช่วง (pulsatile) เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นจะหลั่งฮอร์โมนด้วยอัตราสูงขึ้น เช่น ทุก 5-10 นาที หรือทุก 2-3 ชม. หรือหลั่งแต่ละรอบใช้เวลา 24 ชม. (circadian) หรือมีระดับเพิ่มสูงขึ้นที่เวลาเดียวของทุกวัน (diurnal) หรือมีรอบขึ้นลงตามฤดูกาล (seasonal) ฮอร์โมนต่างๆ ในระบบไหลเวียนจะต้องถูกควบคุมให้เพิ่มหรือลดลง ตามความจำเป็นและความต้องการของร่างกาย ร่างกายมีกลไกการควบคุมการหลั่งฮอร์โมน ดังนี้

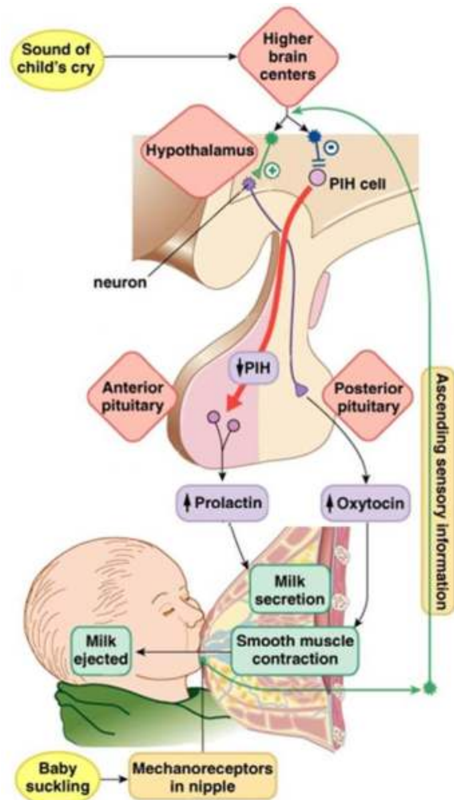
**1.7.1 การควบคุมแบบย้อนกลับ (Feedback control)** คือการที่อวัยวะเป้าหมาย สร้างสารขึ้นมากระตุ้นหรือยับยั้งการทำงานของต่อมไร้ท่อให้หลั่งฮอร์โมนมากขึ้นหรือน้อยลง แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

**1) การยับยั้งย้อนกลับ (Negative feedback)** โดยทางตรง เช่น เมื่อมีการหลั่งฮอร์โมนเพิ่มมากขึ้นในกระแสเลือด ฮอร์โมนที่เพิ่มนั้นจะมีผลย้อนกลับไปยับยั้งการหลั่งของตัวเองโดยตรง หรือโดยอ้อมถ้าไปยับยั้งในระดับที่สูงกว่า เช่น การควบคุมการหลั่งของ ACTH การควบคุมฮอร์โมนส่วนใหญ่ใช้วิธีนี้

**2) การควบคุมแบบกระตุ้นย้อนกลับ (Positive feedback)** มีลักษณะการทำงานเช่นเดียว กับการยับยั้ง เพียงแต่จะไปกระตุ้นแทนการยับยั้ง เช่น ในระหว่างการคลอดบุตร ศีรษะเด็กที่ไปยืดขยายปากมดลูกจะไปกระตุ้นตัวรับที่รับรู้การยืด (stretch receptor) ซึ่งจะส่งสัญญาณประสาทไปกระตุ้นต่อมใต้สมองให้หลั่งฮอร์โมนออกซิโทซิน ซึ่งจะไปกระตุ้นการบีบตัวของมดลูก จนกระทั่งเด็กคลอดแล้ว จึงหยุดหลั่งฮอร์โมน




A




B

รูปที่ 16-3 (A) แสดงกลไกการยับยั้งย้อนกลับ (Negative feedback) ตามรูป ACTH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า จะกระตุ้นต่อมหมวกไต (adrenal cortex) ให้สร้างคอร์ติซอล เมื่อคอร์ติคอล มีระดับสูงขึ้นจะไปยังยั้งการสร้าง ACTH และ hypothalamus, (B) แสดงกลไกการกระตุ้นย้อนกลับ (Positive feedback) เมื่อเด็กดูดนมแม่ จะกระตุ้นตัวรับรู้ mechanoreceptor ผลทำให้มีการหลั่ง oxytocin ทำให้มีการหลั่งของน้ำนม ตราบใดที่เด็กยังดูดนมแม่อยู่ และกลไกนี้จะหยุดไปเมื่อเด็กหยุดดูดนม

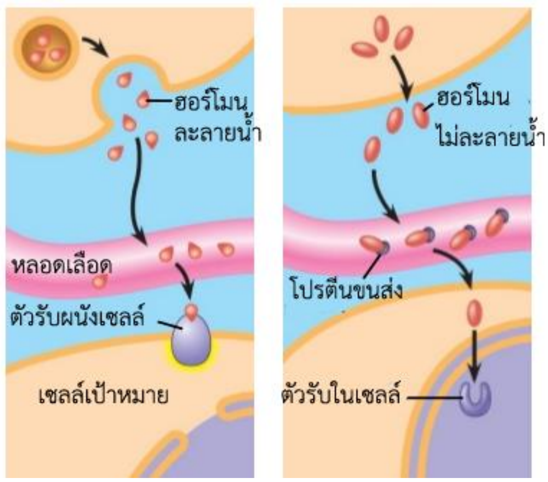
**1.7.2 การควบคุมทางระบบประสาท (Neural control)**

**1) โดยทางตรง** ได้แก่ การที่ต่อมเจริญมาจากเนื้อเยื่อเซลล์ประสาท ถูกควบคุมโดยระบบประสาทส่วนกลาง เมื่อประสาทถูกกระตุ้นจะทำให้มีการหลั่งฮอร์โมนทันที ได้แก่ การหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหลัง และต่อมหมวกไตชั้นใน

**2) โดยทางอ้อม** ได้แก่ การที่ไฮโปทาลามัสสร้างฮอร์โมน 2 ชนิด ได้แก่ Releasing hormone (RH) ซึ่งมีฤทธิ์กระตุ้นการหลั่ง และ Inhibiting hormone (IH) ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างและการหลั่งที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้า

## 1.8 การขนส่งฮอร์โมน

เมื่อมีการหลั่งฮอร์โมนในกระแสเลือด พวกโปรตีนฮอร์โมนและเอมีนฮอร์โมน ไม่จำเป็นต้องจับกับโปรตีนตัวพา เนื่องจากมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี สำหรับสเตียรอยด์และไทรอยด์ฮอร์โมนที่ไม่ละลายน้ำ จะจับกับโปรตีนขนส่ง ได้แก่ albumin, prealbumin, globulin และพาไปในระบบไหลเวียนเลือด




รูปที่ 16-4 แสดงการขนส่งฮอร์โมน

ฮอร์โมนที่จับกับโปรตีนขนส่ง (transport protein) เรียกว่า **bound hormone** เมื่อฮอร์โมนจะออกฤทธิ์จะต้องแตกตัวเป็นฮอร์โมนอิสระ เรียกว่า **free hormone** ฮอร์โมนจะอยู่ในระบบไหลเวียนในชั่วระยะ เวลาหนึ่ง แล้วจะถูกกำจัดออก ตับและไตเป็นที่สลายฮอร์โมน สารที่ได้จากการสลายจะถูกขับทิ้งทางน้ำดี ปัสสาวะ หรืออุจจาระ ดังนั้นระดับฮอร์โมนในเลือดจึงขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์ อัตราการหลั่ง อัตราการกำจัดฮอร์โมนจากกระแสเลือด

## 1.9 ความผิดปกติของต่อมไร้ท่อ

**1.9.1 พันธุกรรม** เช่น ความบกพร่องของเอนไซม์ ทำให้มีสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์ฮอร์โมนมีมากหรือน้อยเกินไป โปรตีนขนส่งมีมากหรือน้อยไป หรือความผิดปกติของตัวรับสัญญาณของฮอร์โมน

**1.9.2 การหลั่งฮอร์โมนผิดปกติ**

**1) *ภาวะขาดฮอร์โมน* (hormone deficiency)** เนื่องจากเซลล์ของต่อมไร้ท่อถูกทำลาย เช่นจากการติดเชื้อ สารเคมี การขาดเลือดมาเลี้ยง มีเนื้องอกไปกดการทำงานของต่อม ต่อมฝ่อจากผลของยา อายุมากขึ้น เป็นต้น ทำให้การสร้างฮอร์โมนลดลง รักษาโดยการให้ฮอร์โมนที่ขาดทดแทน

**2) *ภาวะฮอร์โมนเกิน* (hormone excess)** เนื่องจากเซลล์ที่สร้างฮอร์โมนขยายจำนวนมากเกินไป เช่น เป็นเนื้องอกธรรมดา มะเร็งของต่อม หรือได้รับฮอร์โมนจากภายนอก การรักษาทำได้โดยการฉายแสงเพื่อทำลายบางส่วนของต่อม หรือการผ่าตัดต่อมออก

**1.9.3 *ภาวะดื้อฮอร์โมน* (Hormone resistance)** เป็นความผิดปกติที่ตัวรับฮอร์โมน ไม่ตอบสนองต่อฮอร์โมน ทำให้ฮอร์โมนออกฤทธิ์ต่อเซลล์เป้าหมายได้น้อยลง เช่น เบาหวานที่ดื้อต่ออินซูลิน (insulin resistance)

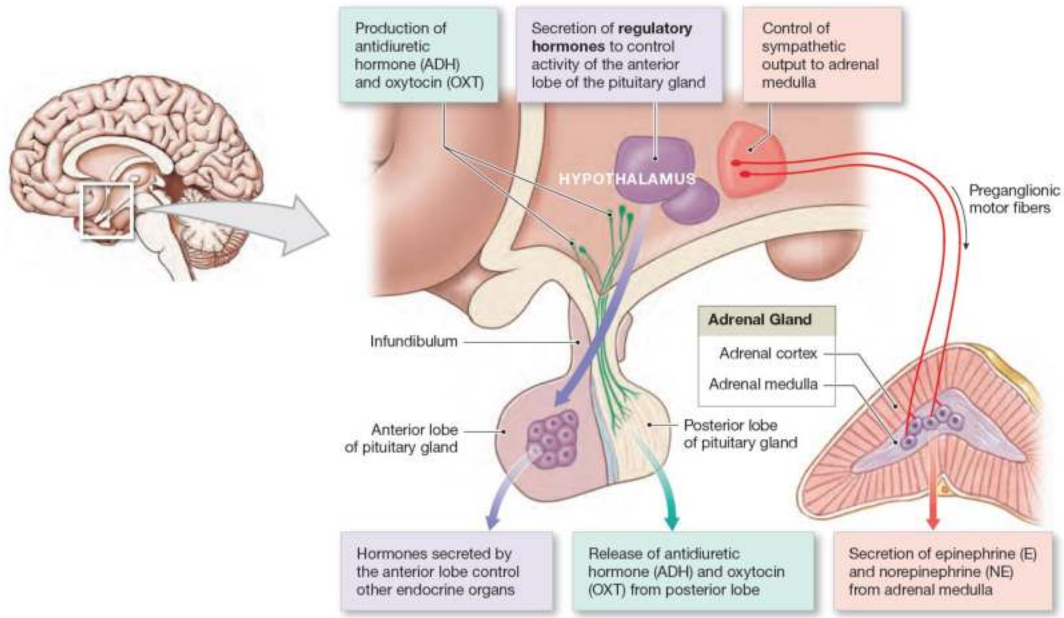
**ตารางที่ 16-1 แสดงต่อมไร้ท่อ ฮอร์โมน และหน้าที่สำคัญของต่อมไร้ท่อ**

| ต่อมไร้ท่อ | ฮอร์โมน | หน้าที่ |
|---|---|---|
| **Hypothalamus** | Releasing hormone | กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนที่ต่อมใต้สมอง |
| | Inhibiting hormone | ยังยั้งการหลั่งฮอร์โมนที่ต่อมใต้สมอง |
| **Adenohypophysis** | ACTH | กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนที่ต่อมหมวกไต |
| | FSH | ควบคุมการทำงานของอวัยวะเพศ |
| | LH | ควบคุมการทำงานของอวัยวะเพศ |
| | GH | กระตุ้นการเจริญเติบโต |
| | Prolactin | กระตุ้นการสร้างน้ำนม |
| | TSH | กระตุ้นการสร้างฮอร์โมนที่ต่อมไทรอยด์ |
| **Neurohypophysis** | ADH | เพิ่มการดูดน้ำกลับที่ไต |
| | Oxytocin | กระตุ้นการหดตัวของมดลูกและการหลั่งน้ำนม |
| **Thyroid gland** | Thyroid hormone | ควบคุมเมตาบอลิซึมของร่างกาย |
| | Calcitonin | ลดแคลเซี่ยมในเลือด |
| **Parathyroid hormone** | Parathyroid hormone | เพิ่มแคลเซี่ยมในเลือด |
| **Pancreas** | Insulin | ลดน้ำตาลในเลือด |
| | Glucagon | เพิ่มน้ำตาลในเลือด |
| **Adrenal cortex** | Cortisol | รักษาสมดุลของอาหาร |
| | Aldosterone | ดูดโซเดียม ขับโปตัสเซี่ยมที่ไต |
| | Catecholamine | ตอบสนองต่อภาวะต่อสู้หรือหนีภัย |
| **Ovary** | Estrogen | ทำให้มีลักษณะเป็นเพศหญิง |
| | Progesterone | ทำให้ผนังมดลูกหนาตัว ในช่วงตั้งครรภ์ |
| **Testis** | Testosterone | ทำให้มีลักษณะเป็นเพศชาย |
| **Thymus** | Thymosin | กระตุ้นการทำงานของ T-Lymphocyte |
| **Pineal** | Melatonin | ยับยั้งการทำงานของ gonadotropin |

***********************************

# ตอนที่ 2
# ไฮโปทาลามัส (Hypothalamus)

ไฮโปทาลามัสเป็นศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย การเต้นของหัวใจ ความดันเลือด ความหิว การนอนหลับ การหลั่งน้ำย่อยจากกระเพาะอาหาร ความสมดุลของน้ำในร่างกาย และการแสดงออกทางอารมณ์ความรู้สึกการหลั่งทำหน้าที่เชื่อมโยงการทำงานของระบบประสาทและระบบต่อมไร้ท่อ




รูปที่ 16-5 แสดงกลไกการควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อโดยไฮโปทาลามัส

## 2.1 ควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ

ไฮโปทาลาทัส ควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ โดยอาศัยกลไก 3 ประการ

**2.1.1 สร้างและหลั่งฮอร์โมนจากไฮโปทาลามัสไปควบคุมต่อมใต้สมองส่วนหน้า** เรียกว่า Hypothalamic hormone ส่วนใหญ่มีผลกระตุ้น (Releasing hormone, RH) บางชนิดที่มีผลยับยั้ง (Inhibiting hormone, IH)

**ตารางที่ 16-2 แสดง Releasing hormone และ Inhibiting hormone**

| Releasing hormone, RH | ผลต่อต่อมใต้สมองส่วนหน้า |
|---|---|
| Corticotropin releasing hormone (CRH) | (+) ACTH |
| Gonadotropin releasing hormone (GnRH) | (+) LH, (+) FSH |
| Growth hormone releasing hormone (GHRH) | (+) GH |
| Thyrotropin releasing hormone (TRH) | (+) TSH |
| Prolactin-releasing hormone (PRH) | (+) prolactin |
| Melanocyte-stimulating hormone (MSH) | (+) MSH |

+ หมายถึง กระตุ้น

| Inhibiting hormone, IH | ผลต่อต่อมใต้สมองส่วนหน้า |
|---|---|
| Growth-hormone-inhibiting hormone (GHIH) | (-) GH |
| Prolactin inhibiting hormone (PIH) | (-) prolactin |
| Melanocyte-stimulating hormone inhibiting factor (MRF) | (–) MSH |

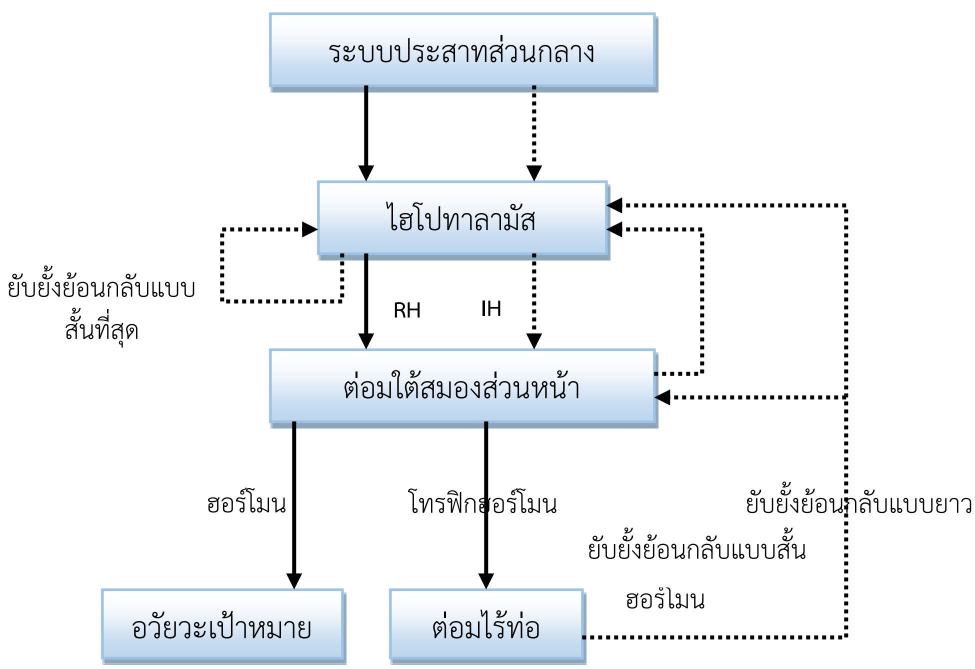
- หมายถึง ยับยั้ง

**2.1.2 สร้างฮอร์โมนไปเก็บที่ต่อมใต้สมองส่วนหลัง** ได้แก่ฮอร์โมนออกซิโทซิน (Oxytocin, OT) และวาโซเพรสซิน (Vasopressin, VP) หรือ Antidiuretic hormone (ADH)

**2.13 ควบคุมโดยตรงต่อต่อมหมวกไตชั้นใน** (adrenal medulla) ให้ผลิต catecholamine

## 2.2 Hypothalamo-pituitary-target endocrine gland axis

ไฮโปทาลามัสส่ง releasing hormone หรือ inhibiting hormone มาควบคุมเซลล์จำเพาะในต่อมใต้สมองส่วนหน้า ให้สร้างฮอร์โมนซึ่งถูกส่งต่อไปควบคุมต่อมไร้ท่ออื่นหรือเซลล์ของอวัยวะอื่นทั่วร่างกาย การควบคุมนี้มีลักษณะเป็นการขยายสัญญาณ พบว่า releasing hormone ที่หลั่งออกมามีปริมาณเป็น nanogram แต่สามารถทำให้มีการสร้างและหลั่ง pituitary hormone ในปริมาณที่มากกว่าเป็น 100-1,000 เท่า และมีผลให้ต่อมไร้ท่อเป้าหมายหลั่งฮอร์โมนเพิ่มขึ้นอีกเป็นพันเท่า




รูปที่ 16-6 แสดงฮอร์โมนจากไฮโปทาลามัสควบคุมการหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า และการยับยั้งย้อนกลับแบบต่างๆ (RH = releasing hormone, IH = inhibiting hormone)

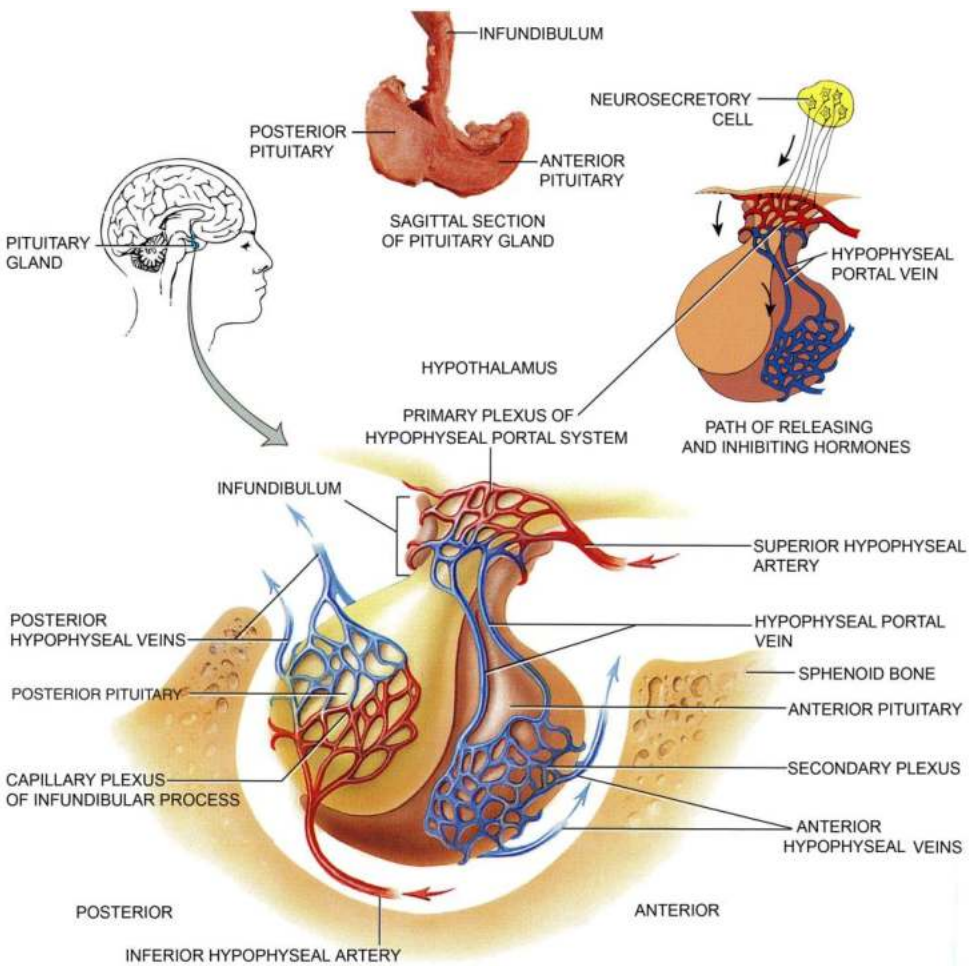
Releasing hormone และ inhibiting hormone ของไฮโปทาลามัสถูกควบคุมย้อนกลับแบบสั้น (short-loop feedback) โดยฮอร์โมนต่อมใต้สมอง หรือถูกควบคุมย้อนกลับแบบยาว (long-loop feedback) โดยฮอร์โมนของต่อมไร้ท่อ หรือสารเมตะบอไลต์ เช่น กลูโคส กรดไขมันที่เปลี่ยนแปลงโดยฤทธิ์ของฮอร์โมนต่อมไร้ท่อเป้าหมาย ฮอร์โมนเหล่านี้อยู่นอก blood-brain barrier จึงไม่สามารถผ่านเข้าไปในสมองได้ทางกระแสเลือดไหลเวียนทั่วไป แต่จะผ่านทางช่องทางเล็กๆ (fenestrated ) ของเส้นเลือดฝอยที่เลี้ยงเซลล์ประสาทในไฮโปทาลามัสหรือย้อนกลับไปทาง portal vessel นอกจากนี้อาจถูกควบคุมย้อนกลับแบบสั้นที่สุด (ultrashort loop feedback) โดย releasing hormone จะย้อนกลับไปควบคุมตัวเอง ผ่านเซลล์ประสาทที่เชื่อมโยงกันอยู่หรือผ่านทางน้ำไขสันหลัง

***********************************

# ตอนที่ 3
# ต่อมใต้สมอง หรือ ต่อมพิทูอิทารี
# (Pituitary gland, Hypophysis cerebri)

ต่อมใต้สมองมีรูปร่างกลมรี สีน้ำตาลแดง เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.3 ซม. น้ำหนักประมาณ 0.6 กรัม ขนาดเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาวะของร่างกาย ต่อมห้อยอยู่กับก้านเรียกว่า infundibulum ซึ่งเป็นเนื้อสมองกลวง รูปกรวยยื่นออกมาจากสมองส่วนไฮโปทาลามัส ตัวต่อมวางตัวอยู่ในส่วนเว้าลักษณะเป็นแอ่งอยู่ด้านบนของกระดูก sphenoid ในแอ่งนี้ต่อมใต้สมองจะถูกปิดคลุมทางด้านบนโดยเยื่อหุ้มสมองชั้นดูรา ที่เรียกว่า diaphragm sellae แผ่นนี้จะมีช่องเล็กๆ ตรงกลางให้ infundibulum ผ่าน

ต่อมใต้สมองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามต้นกำเหนิด ลักษณะและหน้าที่การทำงาน ส่วนแรกเจริญยื่นลงมาจากสมองส่วน hypothalamus เรียกว่า **neurohypophysis** อีกส่วนพัฒนามาจากชั้นผิวนอกของเนื้อเยื่อใยปาก เรียกว่าได้แก่ **adenohypophysis** และด้วยวิธีการแยกแบบนี้ จะต่างกับวิธีการเรียกแบบเดิมที่เรียก posterior pituitary gland และ anterior pituitary gland ซึ่งไม่ได้รวมส่วน infundibulum ไว้




รูปที่ 16-7 แสดงกายวิภาคของต่อมใต้สมอง

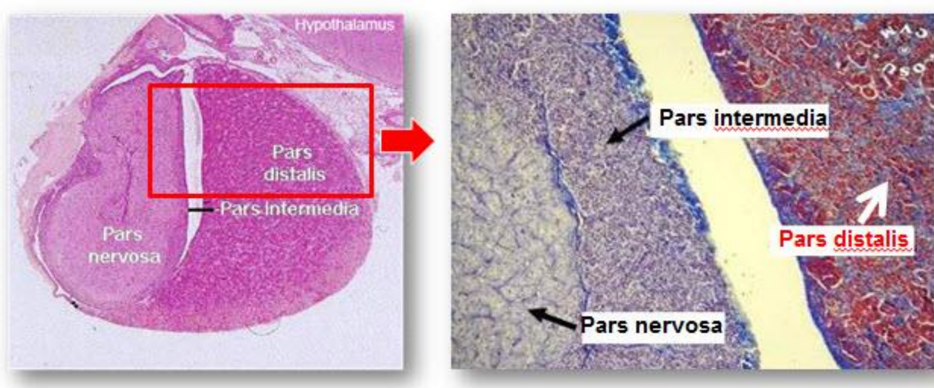
### 3.1 ต่อมใต้สมองส่วนหน้า (Adenohypophysis)

ต่อมใต้สมองส่วนหน้า เป็นส่วนของต่อมที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ หนักประมาณ 80% ของน้ำหนักต่อมใต้สมองทั้งหมด มีหลอดเลือดมาเลี้ยงจำนวนมาก ต่อมพัฒนามาจากกลุ่มเซลล์ของชั้นผิวนอกของเนื้อเยื่อเพดานปากในตัวอ่อน ต่อมประกอบด้วยเซลล์เป็นจำนวนมาก มีขนาดและรูปร่างต่างกัน อาจเรียงเป็นแถว เป็นกลุ่ม หรือ เป็นถุง แยกจากกันด้วยผนังหลอดเลือดบางๆ และยึดไว้ด้วยร่างแหที่สลับซับซ้อน ต่อมใต้สมองส่วนหน้าแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่

=> **Pars distalis**: เป็นโครงสร้างส่วนใหญ่ ลักษณะคล้ายต่อม

=> **Pars tuberalis (infundibularis)**เป็นส่วนของ pars distalis ที่ขยายขึ้นด้านบนไปล้อมรอบ infundibulum ไว้

=> **Pars intermedia**: เป็นส่วนที่ไม่เจริญ และถูกดันไปใกล้ต่อมใต้สมองส่วนหลัง สร้างฮอร์โมน melanocyte -stimulating hormone (MSH) ทำหน้าที่กระตุ้นเซลล์ melanocytes ให้สร้างเม็ดสี




รูปที่ 16-8 แสดงกายวิภาคของต่อมใต้สมองส่วนหน้า

#### 3.1.1 จุลกายวิภาคของต่อมใต้สมองส่วนหน้า

**Pars distalis** พบเซลล์ 2 ชนิด ได้แก่ Chromophils และ Chromophobes

**Chromophils** แบ่งได้ตามอีกตามการติดสี ได้แก่ acidophils และ basophils

**1. Acidophils** เป็นเซลล์ขนาดใหญ่ ติดสีชมพู เซลล์สร้างฮอร์โมนที่เป็นพวกโปรตีน เรียก ชื่อเซลล์ตามฮอร์โมนที่สร้างขึ้น ดังนี้

=> **Somatotrophs** สร้าง human growth hormone (hGH) ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญ เติบโตของร่างกาย

=> **Lactotrophs** สร้าง Prolactin ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญของเต้านมและการหลั่งน้ำนมในระหว่างการตั้งครรภ์

**2. Basophils** มีขนาดใหญ่กว่า acidophils แต่มีจำนวนน้อยกว่า ย้อมติดสีด่าง เรียกชื่อเซลล์ตามฮอร์โมนที่สร้างขึ้น ดังนี้

=> **Thyrotrophs** สร้าง thyroid stimulating hormone (TSH) ทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของต่อมไทรอยด์

=> **Gonadotrophs** สร้าง Follicle stimulating hormone (FSH) ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญของไข่ในรังไข่ ควบคุมการสร้างและหลั่ง estrogen ในหญิง และ Interstitial cell stimulating hormone (ICSH) หรือ Luteinizing hormone (LH) กระตุ้นการสร้างและหลั่ง androgen จาก Leydig cells ของอัณฑะ

=> **Corticotrophs** สร้าง adrenocorticotropic hormone (ACTH) ทำหน้าที่กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนของต่อมหมวกไตส่วนนอก

**Chromophobes** เซลล์มีขนาดเล็กไม่ย้อมติดสี เชื่อว่าเป็นเซลล์ที่อยู่ในระหว่างพัก ไม่สร้าง ฮอร์โมน

เพื่อความสะดวกในการศึกษา เราแบ่งฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหน้า เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ Corticotropin related peptides, Somatomammotropins, Glycoproteins ตามตารางที่ 16-3

**ตารางที่ 16-3 ฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหน้า**

| กลุ่ม | ชื่อเซลล์ที่สร้าง | ฮอร์โมน |
|---|---|---|
| Corticotropin related peptides | Corticotrophs | Adrenocorticotropic hormone (ACTH) |
| Somatomammotropins | Somatotrophs<br>Lactotrophs | Human growth hormone (hGH)*****<br>Prolactin (PRL)***** |
| Glycoproteins | Gonadotrophs<br>Gonadotrophs<br>Thyrotrophs | Luteinizing hormone (LH)<br>Follicle stimulating hormone (FSH)<br>Thyroid stimulating hormone (TSH) |

หมายเหตุ

*GH, PRL ออกฤทธิ์ต่อเป้าหมายโดยตรง ส่วนอีก 4 ชนิดเป็นฮอร์โมนที่มีผลควบคุมการทำงานของต่อมไร้ท่ออื่นอีกต่อหนึ่ง เรียกว่า โทรฟิคฮอร์โมน หรือ โทรปิกฮอร์โมน (Trophic hormone หรือ tropic hormone)

### 3.1.2 ฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหน้า

**GROWTH HORMONE (hGH)**

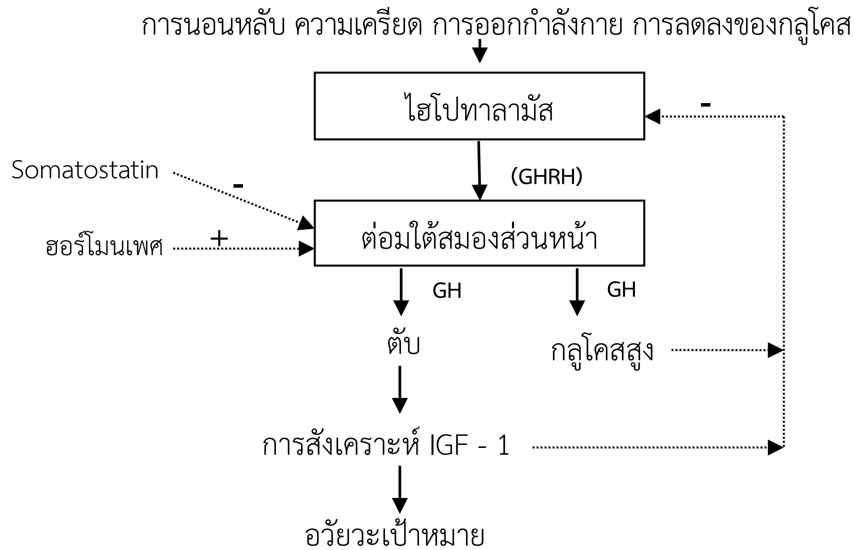
เซลล์ทุกเซลล์ในร่างกายเป็นเป้าหมายของฮอร์โมนนี้ **ยกเว้นเซลล์ประสาท** GH ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของร่างกาย โดยทำงานร่วมกับ growth factor ที่สำคัญ ได้แก่ IGF-I และฮอร์โมนอื่นๆ เช่น ไทรอยด์ฮอร์โมน อินซูลิน ฮอร์โมนช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของร่างกาย โดยเพิ่มความสูงตั้งแต่เด็กจนเป็นผู้ใหญ่ พบว่าระดับของ GH จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเจริญเติบโต เด็กจะหลั่ง GH มากที่สุดในช่วงหลับสนิท

**บทบาทของ GH**

1. GH มีความจำเป็นต่อการเจริญของกระดูกตามอายุ กระตุ้นการสร้างเนื้อเยื่อใหม่
2. ลดการสะสมและช่วยในการเผาผลาญไขมัน
3. ลดการใช้คาร์โบไฮเดรท โดยเปลี่ยนไปใช้ไขมัน เป็นแหล่งพลังงาน
4. รักษาระดับกลูโคสในเลือดให้คงที่ โดยการเปลี่ยนไกลโคเจนในตับไปเป็นกลูโคส
5. กระตุ้นการทำงานของเซลล์สร้างกระดูกที่ epiphyseal plate ทำให้กระดูกยาวขึ้น

**การควบคุมการหลั่ง GH**

ไฮโปทาลามัสหลั่ง Growth hormone releasing hormone (GHRH) มาควบคุมการสร้างและหลั่ง การหลั่ง GH การหลั่งมีความสัมพันธ์กับการนอนหลับและอายุ ในเด็กหลั่งมากกว่าผู้ใหญ่ และประมาณ 70% ของฮอร์โมนในแต่ละวันจะหลั่งภายใน 2 ชม. หลังการนอนหลับ นอกจากนี้ ความเครียด การออกกำลังกาย ความหิว การลดลงของกลูโคส ฯลฯ มีผลกระตุ้นการหลั่ง GH ในขณะที่กลูโคสในเลือดสูงจะมีผลลดการหลั่ง GH

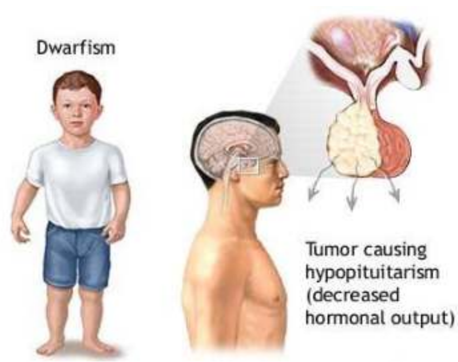



รูปที่ 16-9 แสดงการควบคุมการหลั่ง GH (เครื่องหมาย **+** แสดงการกระตุ้น เครื่องหมาย **-** แสดงการยับยั้ง)

**ภาวะความผิดปกติของ GH**

**1) Dwarfism** เป็นโรคที่มีการหลั่ง GH ในวัยก่อนหนุ่มสาว น้อยกว่าปกติ จะทำให้กระดูกมีการเจริญเติบโตช้าลง มีรูปร่างแคระแกรน

**2) Gigantism** เป็นโรคที่มีการหลั่ง GH ในวัยก่อนหนุ่มสาวมากกว่าปกติ ระยะนี้รอยเชื่อมต่อของกระดูก (epiphyseal plate) ยังไม่ปิด ทำให้มีรูปร่างสูงใหญ่โตกว่าปกติมาก




A. DWARFISM



B. ACROMEGALY

รูปที่ 16-10 ภาพ A แสดง Dwarfism และภาพ B แสดง Acromegaly

**3) Acromegaly** เป็นภาวะที่ร่างกายมีระดับ GH สูง หลังวัยก่อนหนุ่มสาวซึ่งกระดูกปิดแล้ว ส่วนกระดูกและเนื้อเยื่อเจริญออกทางด้านข้าง ผู้ป่วยมีลักษณะคางยื่น ฟันห่าง หนาผากเด่น มือ-เท้าใหญ่หนา จมูกโต ปากหนา ลิ้นใหญ่ หน้าตาหยาบ เสียงห้าว อวัยวะภายในมีขนาดใหญ่ขึ้น

**4) Growth hormone deficiency syndrome** เป็นภาวะที่ร่างกายมีระดับ GH น้อยในผู้ใหญ่ กล้ามเนื้อจะลีบ แก่เร็ว มีไขมันในเลือดสูง



A. เปรียบเทียบขนาดมือ




B. พัฒนาการของใบหน้าที่เปลี่ยนไป



C. รูปใบหน้าของคนที่เป็น Acromegaly

รูปที่ 16-11 แสดงความผิดปกติในผู้ป่วยที่เป็น Acromegaly

**ตารางที่ 16-4 สรุปความแตกต่างของการหลั่ง hGH ผิดปกติ**

| ความผิดปกติ | ช่วงวัย | โรค |
|---|---|---|
| Hypersecretion: หลั่งฮอร์โมนมาก | เด็ก | Gigantism |
| | ผู้ใหญ่ | Acromegaly |
| Hyposecretion: หลั่งฮอร์โมนน้อย | เด็ก | Dwarfism |
| | ผู้ใหญ่ | Growth deficiency syndrome |

## PROLACTIN (PRL)

เมื่อเข้าสู่วัยรุ่น ฮอร์โมนเอสโทรเจนจะกระตุ้นให้มีการเจริญเติบโตของเต้านม มีการสร้างสาขาของท่อน้ำนม (duct) ออกมากขึ้น หลังจากนั้นเอสโทรเจนกับโพรเจสเทอโรนจะทำงานร่วมกัน ทำให้ท่อน้ำนมและถุงน้ำนม (alveoli) เจริญอย่างสมบูรณ์ เต้านมมีขนาดใหญ่ขึ้นตึงตัวขึ้น (glandular development) ในขณะตั้งครรภ์ฮอร์โมนทั้งหมดนี้จะมี

จำนวนมากขึ้นทำให้เต้านมมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่โพรแลกทินยังไม่ได้กระตุ้นการสร้างน้ำนมเพราะถูกยับยั้งโดยฮอร์โมนเอสโทรเจนที่สร้างจากรกในระดับสูงระหว่างตั้งครรภ์ หลังคลอดรกลอกตัวแล้วระดับฮอร์โมนอีสโทรเจนลดน้อยลง

**หน้าที่ของ Prolactin**

1. กระตุ้นให้ถุงน้ำนมขับน้ำนมออกมาสู่ท่อน้ำนมแล้วมาที่หัวนม (nipple)
2. กระตุ้นการสังเคราะห์น้ำนม (lactogenesis) ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของทารก
3. กระตุ้นให้ต่อมน้ำนมหลั่งน้ำนมออกมา ซึ่งจะหลั่งออกมาวันที่ 3-4 หลังคลอด

**การสังเคราะห์และการหลั่ง Prolactin**

โพรแลกทินสังเคราะห์จากเซลล์ lactotroph (หรือ mammotroph) ของต่อมใต้สมองส่วนหน้า ต่อมใต้สมองของทารกสร้างโพรแลกทินของตนเอง ในเด็กหญิงเมื่อเข้าสู่วัยสาวระดับ โพรแลกทินจะเพิ่มสูงขึ้น และเพิ่มมากขึ้นอีกขณะตั้งครรภ์ ระดับเมื่อใกล้คลอดจะสูงกว่าสตรีไม่ตั้งครรภ์ถึง 10 เท่า หลังคลอด โพรแลกทินจะลดระดับลงจนเท่าระดับปกติภายใน 6 – 8 สัปดาห์ ทุกครั้งที่มารดาให้บุตรดูดนม เกิด suckling reflex ค่าโพรแลกทินจะเพิ่มสูงขึ้น 10 – 20 เท่าของระดับปกติ และสูงอยู่ประมาณ 1 ชั่วโมง โพรแลกทินที่สูงนี้กระตุ้นให้มีการสร้างน้ำนมสำหรับการดูดครั้งต่อไปของทารก การสร้างน้ำนมจะเกิดได้ตราบเท่าที่ยังมีการดูดนมของบุตร แต่อัตราการสร้างน้ำนมจะลดลงเรื่อย ๆ และลดมากหลังคลอด 7 – 9 เดือน

**การควบคุมการหลั่ง Prolactin**

การดูดนม (Sucking reflex) ของทารกกระตุ้นให้มีการหลั่งทั้งโพรแลกทิน และออกซิโทซินเพิ่มขึ้นพร้อม ๆ กัน ออกซิโทซินบีบไล่น้ำนมที่สร้างเก็บอยู่เดิมให้ออกมาสู่ทารก ส่วนโพรแลกทินกระตุ้นให้มีการสร้างน้ำนมใหม่เก็บไว้สำหรับมื้อต่อไป

ฮอร์โมน prolactin inhibiting hormone หรือ dopamine มีฤทธิ์ยับยั้งการหลั่งโพรแลกทิน ดังนั้นการให้ยา dopamine หรือสารตั้งต้นของ dopamine เช่น levodopa จึงมีผลยับยั้ง

**ความผิดปกติของการหลั่ง Prolactin**

**Prolactin หลั่งมากผิดปกติ** (hyperprolactinemia) สาเหตุที่พบบ่อยที่สุดคือ เนื้องอกของต่อมใต้สมอง และจากยาบางชนิดซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งโดปามีน โปรแลคตินที่สูงมากผิดปกติยับยั้งการสร้างและการหลั่ง GnRH โดยทำให้ gonadotroph ตอบสนองต่อ GnRH ได้น้อยลง ผลคือ LH และ FSH สร้างและหลั่งน้อยลง ไม่มีไข่ตก พบมีน้ำนมไหลถึงแม้จะไม่ได้ท้อง ประจำเดือนมาผิดปกติหรือไม่มา ในผู้ชาย หากระดับโปรแลคตินสูงๆ ทำให้มีน้ำนมไหลออกจากหัวนม อวัยวะไม่แข็งตัว ความต้องการทางเพศลดลง ผลิตอสุจิได้น้อยหรือไม่สามารถผลิตอสุจิได้ ทำให้มีบุตรยาก

**Prolactin หลั่งน้อยผิดปกติ** ทำให้มารดาไม่สามารถสร้างน้ำนมให้บุตรได้ พบได้ในผู้ป่วยที่เซลล์ของต่อมใต้สมองขาดเลือดมาเลี้ยง

**LUTEINIZING (LH) และ FOLLICLE STIMULATING HORMONE (FSH)**

LH และ FSH เป็นฮอร์โมนที่มีผลต่อต่อมเพศ รังไข่ และอัณฑะ ฮอร์โมนมีบทบาทหน้าที่ในการกระตุ้นและควบคุมการเจริญเติบโตของฟอลลิเคิลของไข่อ่อน การสร้างฮอร์โมนเอสโตรเจนจากรังไข่ในเพศหญิง การสร้างเชื้ออสุจิในเพศชาย ซึ่งต้องอาศัยทั้ง FSH และ LH การเจริญของ seminiferous tubule และ การสร้างฮอร์โมนเพศชาย

**หน้าที่ของ LH**

1. กระตุ้นการเจริญเติบโตของไข่หลังจากการกระตุ้นด้วย FSH ทำให้ไข่สุกและกระตุ้นการตกไข่

2. ทำให้เกิด corpus luteum ในรังไข่ ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนเพศหญิง คือ เอสโตรเจน และกระตุ้นการหลั่งโพรเจสเทอโรน

3. เตรียมต่อมน้ำนมสำหรับการหลั่งน้ำนม

4. ในเพศชาย LH ทำหน้าที่กระตุ้น Leydig's cells ในอัณฑะให้เจริญ และสร้างฮอร์โมนเทสโทสเตอโรน

ปกติ FSH และ LH จะต้องทำงานร่วมกัน และในอัตราที่พอเหมาะ จึงจะกระตุ้นการตกไข่ การหลั่ง estrogen และการสร้างอสุจิ

**การควบคุมการหลั่ง FSH และ LH**

จะถูกกระตุ้นโดย gonadotrophin releasing hormone (GnRH) หรือ Luteinizing hormone releasing hormone (LHRH) จากไฮโปทาลามัส และถูกควบคุมโดยฮอร์โมนเพศชื่อ inhibin จากอัณฑะและรังไข่

### 3.1.3 การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนต่อมใต้สมองส่วนหน้า

ถูกควบคุมโดย 2 วิธี ตามรูปที่ 16-6 ได้แก่

1. ระบบประสาทโดยผ่านทางไฮโปทาลามัส โดยไฮโปทาลามัส สร้าง hypothalamic hormone ซึ่งอาจทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น เรียกว่า Releasing hormone หรือยับยั้ง เรียกว่า Inhibiting hormone

2. การควบคุมแบบยับยั้งย้อนกลับ ต่อมใต้สมองส่วนหน้าจะหลั่งฮอร์โมนไปกระตุ้นต่อมเป้าหมายให้สร้างฮอร์โมน ซึ่งเมื่อระดับฮอร์โมนสูงขึ้นก็จะมีการสื่อกลับไปยับยั้งการทำงานของต่อมใต้สมองส่วนหน้าโดยตรง หรือที่ไฮโปทาลามัส เพื่อลดการสร้างฮอร์โมนในอยู่ในระดับสมดุล

### 3.1.4 ความผิดปกติของต่อมใต้สมองส่วนหน้า

**1. โรคขาดฮอร์โมนต่อมใต้สมอง (hypopituitarism)** อาจมีสาเหตุมาจาก

1.1 ความผิดปกติของต่อมใต้สมองส่วนหน้าถูกทำลาย ที่พบบ่อย เช่น เกิดเนื้องอกที่ต่อมใต้สมองมีการกดทับต่อม เนื้อเยื่อตาย การติดเชื้อ การฉายแสง หรือโดยไม่ทราบสาเหตุ โรคที่พบบ่อย คือ **Sheehan's syndrome** พบในผู้ป่วยหญิงที่มีการเสียเลือดอย่างมากระหว่างหรือหลังคลอดบุตร ภาวะช็อคจากการเสียเลือด ทำให้ต่อมใต้สมองขาดเลือดไปเลี้ยง เนื้อเยื่อต่อมตาย ทำให้ต่อมใต้สมองทำงานน้อยกว่าปกติในระยะเวลาต่อมา

1.2 ความผิดปกติของไฮโปทาลามัส ทำให้ขาดการกระตุ้นโดย releasing hormone สาเหตุ จากการทำลายที่ก้านสมอง จากการบาดเจ็บ ติดเชื้อ ขาดเลือดไปเลี้ยง หรือจากการได้รับฮอร์โมนจากภายนอกเป็นเวลานาน ทำให้การทำงานของ hypothalamic pituitary adrenal axis เสียไปชั่วขณะ

**อาการ** ของโรคอาจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว หรือใช้เวลาหลายปีขึ้นกับสาเหตุของโรค อาการแสดงขึ้นอยู่กับชนิดของฮอร์โมน ดังนี้

1. อาการที่เกิดจากการขาด FSH และ LH ในผู้หญิงมีการขาดประจำเดือน เต้านมเล็กลง ในผู้ชายทำให้เป็นหมัน ขนาดของอัณฑะเล็กลง

2. อาการที่เกิดจากการขาด prolactin ทำให้ไม่มีน้ำนมหลังคลอด

3. อาการที่เกิดจากการขาด TSH ทำให้เกิดอาการของต่อมไทรอยด์ทำงานต่ำ

4. อาการที่เกิดจากการขาด ACTH ได้แก่ อ่อนเพลีย คลื่นไส้อาเจียน มีไข้ ความดันโลหิตต่ำ
5. อาการที่เกิดจากการขาด GH ในเด็กทำให้ไม่เจริญเติบโต ในผู้ใหญ่ไม่ค่อยเห็นความผิดปกติ

**การรักษา** โดยการให้ฮอร์โมนทดแทน

**2. โรคที่เกิดจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าหลั่งฮอร์โมนเกิน (hyperpituitarism)** อาจมีสาเหตุจาก

1. เกิดจากเนื้องอก มีการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ ทำให้มีการหลั่งฮอร์โมนมากผิดปกติ มีผลไปกระตุ้นต่อมไร้ท่อเป้าหมายมากเกินไป
2. ไฮโปทาลามัสผิดปกติ ทำให้มีฮอร์โมนมากระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้ามากเกินไป
3. ต่อมไร้ท่อเป้าหมายไม่ทำงาน ทำให้ไม่มีการยับยั้งย้อนกลับ

**การรักษา** โดยการฉายแสง หรือการทำลายต่อม จากนั้นให้ฮอร์โมนทดแทน

## 3.2 ต่อมใต้สมองส่วนหลัง (Neurohypophysis)

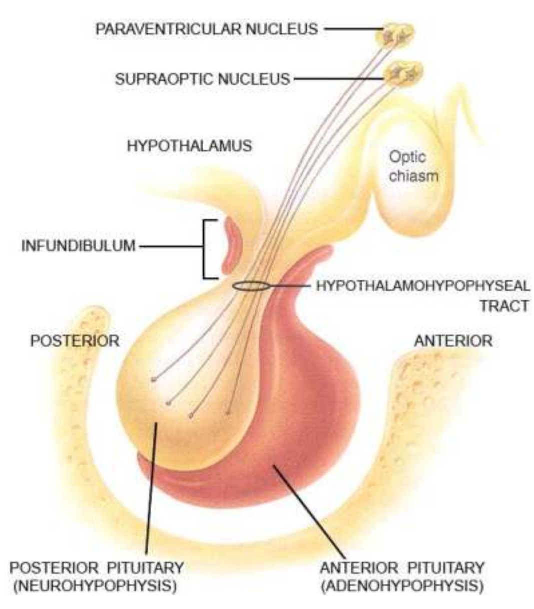
ต่อมใต้สมองส่วนหลัง เป็นเนื้อเยื่อประสาทที่ยื่นมาจากไฮโปทาลามัส มีน้ำหนักประมาณ 20% ของต่อมใต้สมองและค่อนข้างเจริญเต็มที่แล้วในทารกแรกเกิด ต่อมไม่มีหน้าที่ในการสังเคราะห์ฮอร์โมน เพียงแต่ทำหน้าที่เก็บและหลั่งฮอร์โมนที่สร้างจากไฮโปทาลามัสเท่านั้น ต่อมใต้สมองส่วนหลังประกอบด้วยส่วน **pars posterior** (pars nervosa หรือ neural lobe) กับ **infundibular stem** และอาจรวม median eminence ของสมองส่วนไฮโปทาลามัสด้วย

**จุลกายวิภาคของต่อมใต้สมองส่วนหลัง**

ต่อมมีลักษณะโครงสร้างเฉพาะไม่ได้เป็นต่อมเหมือนต่อมใต้สมองส่วนหน้า โครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยใยประสาทที่ไม่มีเปลือกหุ้ม โดยที่ตัวเซลล์อยู่ในไฮโปทาลามัส เซลล์มีขนาดเล็ก รูปดาวหลายแฉก เรียกว่าเซลล์ pituicyte

กลุ่มเซลล์ประสาทที่อยู่ในไฮโปทาลามัส 2 ชนิด ได้แก่

**1. กลุ่มเซลล์ประสาท Supraoptic nucleus (SON)** สร้างฮอร์โมน Antidiuretic hormone (ADH) มีหน้าที่ยับยั้งการขับปัสสาวะที่ท่อไตส่วนปลาย




รูปที่ 16-12 แสดงต่อมใต้สมองส่วนหลัง และกลุ่มเซลล์ในการสังเคราะห์ฮอร์โมน

**2. กลุ่มเซลล์ประสาท Paraventricular nucleus (PVN)** สร้างฮอร์โมน Oxytocin (OT) มีหน้าที่ในการบีบตัวของมดลูกขณะคลอดและช่วยให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบที่เต้านมหดตัวช่วยในการบีบน้ำนมในระยะหลังคลอด

ฮอร์โมนทั้ง 2 ชนิดอยู่ในรูปของโปรฮอร์โมน โดยจับกับโปรตีนตัวพา ชื่อ neurophysin ซึ่งบรรจุในถุงเยื่อเซลล์เป็นแกรนูล แล้วเคลื่อนลงมาตามใยเส้นประสาทที่เรียกว่า hypothalamohypophyseal fibers ลงมาเก็บไว้ที่ต่อมใต้สมองส่วนหลัง ระหว่างการเคลื่อนที่ลงมาจะถูกย่อยโดยเอ็นไซม์ ทำให้ neurophysin หลุดออกจากฮอร์โมนแล้วไหลเข้าสู่กระแสเลือดเมื่อร่างกายต้องการโดยการหลั่งถุงบรรจุฮอร์โมนออกจากเซลล์ (exocytosis)

### 3.2.2 ฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหลัง

**OXYTOCIN (OT)**

ออกซิโทซิน ออกฤทธิ์ที่กล้ามเนื้อเรียบมดลูก และเต้านม

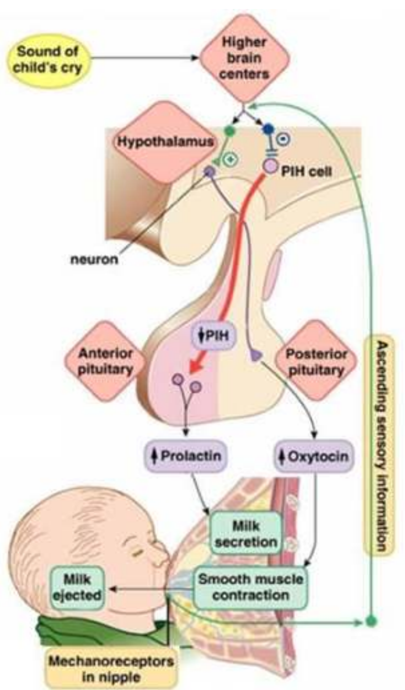
**หน้าที่**

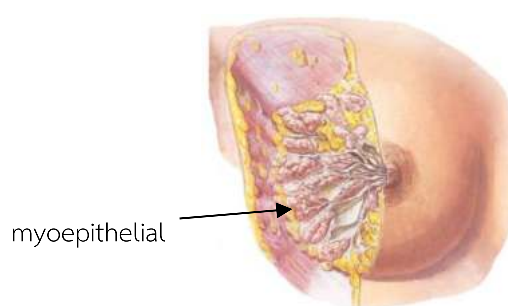
**1. ช่วยในการหลั่งน้ำนม (Milk ejection)** ในระยะหลังคลอด การหลั่งฮอร์โมนสูงสุดเมื่อเวลาลูกดูดนม ปลายประสาทที่หัวนมจะถูกกระตุ้นและส่งสัญญาณประสาทไปที่ไฮโปทาลามัส ทำให้มีการหลั่งฮอร์โมนมากระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบ myoepithelial cells ที่อยู่รอบๆ ถุงน้ำนม ทำให้น้ำนมไหลออกมา นอกจากนี้ ฮอร์โมนยังกระตุ้นพฤติกรรมความเป็นแม่ และกระตุ้นการหลั่งโพรแลกตินได้ด้วย

**2. ช่วยในการคลอดลูก (Uterine contraction)** โดยการกระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบของมดลูกอย่างรุนแรง เพื่อช่วยเร่งให้เด็กผ่านช่องคลอดออกมาอย่างรวดเร็ว ปกติกล้ามเนื้อเรียบของมดลูกสามารถตอบสนองต่อออกซิโทซินได้เพิ่มมากขึ้นภายหลังตั้งครรภ์ ซึ่งการตอบสนองการบีบตัวของมดลูกจะสูงสุดในช่วงก่อนคลอดเล็กน้อย

**การควบคุมการหลั่ง Oxytocin**

**1. การดูดนม (sucking reflex)** ทำให้เกิดการหลั่งน้ำนม เป็นรีเฟล็กส์ทำให้เกิดคลื่นประสาทผ่าน sensory nerve ไปไฮโปทาลามัส กระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหลังให้หลั่งออกซิโทซิน




รูปที่ 16-13 แสดงกลไกการหลั่งน้ำนมโดยออกซิโทซิน

**2. เกี่ยวกับ neuroendocrine reflex** โดยจะมีตัวรับรู้เกี่ยวกับการสัมผัส (touch receptor) ที่อยู่บริเวณหัวนม เช่น การแตะสัมผัสจะกระตุ้น touch receptor ทำให้ส่งผ่านกระแสประสาทประสาทกระตุ้น PVN หลั่งออกซิโทซินเพื่อกระตุ้นการหลั่งน้ำนมออกมา และการยืดของปากช่องคลอดในขณะร่วมเพศ หรือขณะคลอด จะผ่านตัวรับรู้การขยาย stretch receptor แล้วส่งสัญญาณประสาทไปไฮโปทาลามัส

**3. ด้านจิตใจ** เป็นรีเฟล็กส์ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เมื่อตาเห็น ได้ยินเสียงร้องของลูก ทำให้มีการหลั่งน้ำนมออกมาได้ ส่วนความหนาวเย็น เสียงดัง ความเจ็บปวดรุนแรง มีผลยับยั้งการหลั่งฮอร์โมน

ANTIDIURETIC HORMONE (ADH)

**หน้าที่ของ ADH**

ออกฤทธิ์ที่เซลล์บุท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมเพื่อเพิ่มการดูดซึมน้ำกลับ ในภาวะที่เลือดมี ADH สูง ปัสสาวะจะออกน้อยและสีเข้ม และเมื่อเลือดมี ADH ต่ำ ปัสสาวะจะออกมากและเจือจาง ดังนั้น ADH จึงทำหน้าที่ควบคุมปริมาตรและความเข้มข้นของปัสสาวะ แต่ไม่มีผลต่อการขับสารทิ้งในปัสสาวะ

**การควบคุมการหลั่ง ADH**

**1. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำในร่างกาย (osmotic control)** เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ความเข้มข้นของพลาสมาที่เปลี่ยนแปลงไป 1% (3 มิลลิออสโมล/ลิตร) ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงนี้ถูกตรวจสอบโดยเซลล์พิเศษเรียกว่า **ออสโมรีเซปเตอร์ (osmoreceptor)** ซึ่งอยู่ที่ส่วนหน้าของไฮโปทาลามัส การเปลี่ยนแปลงขนาดของออสโมรีเซปเตอร์จะส่งสัญญาณเข้าสู่ไฮโปทาลามัส เพื่อเพิ่มหรือลดการหลั่ง ADH เช่น เมื่อความเข้มข้นของพลาสมาเพิ่มขึ้น ออสโมรีเซปเตอร์จะมีขนาดเล็กลง จะกระตุ้นการหลั่ง ADH มากขึ้น เพิ่มการดูดน้ำกลับเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อลดความเข้มข้นของเลือด

**2. การเปลี่ยนแปลงความดันโลหิต** ตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงความดันโลหิตในร่างกาย เรียกว่า **บาโรรีเซปเตอร์ (baroreceptor)** ซึ่งพบอยู่หลายตำแหน่งในร่างกาย เช่น Left atrium, Aortic arch, Carotid sinus เมื่อปริมาตรในหลอดเลือดมากขึ้น บาโรรีเซปเตอร์จะถูกยืด และส่งสัญญาณผ่านประสาท vagus และ glossopharyngeal เข้าสู่ก้านสมอง ในส่วนของ medulla oblongata ซึ่งเป็นศูนย์ควบคุมการเต้นของหัวใจและความดันโลหิต และมีสัญญาณจากก้านสมองไปที่ไฮโปทาลามัส เพื่อยับยั้งการหลั่ง ADH และเมื่อความดันโลหิตลดลง 5 -10% ของปกติ บาโรรีเซปเตอร์จะกระตุ้นให้มีการหลั่ง ADH มากขึ้น

**ภาวะความผิดปกติของ ADH**

**1. Diabetes insipidus (DI)** หรือ "**โรคเบาจืด**" หมายถึง "กลุ่มอาการที่มีการขับปัสสาวะเจือจางออกมาเป็นจำนวนมาก สาเหตุจากมีการหลั่ง ADH น้อยกว่าปกติ ผู้ป่วยจะมีปัสสาวะมาก ร่างกายอยู่ในภาวะขาดน้ำ กระหายน้ำมากจำเป็นต้องดื่มน้ำจำนวนมาก รักษาโดยการให้น้ำอย่างเพียงพอ ร่วมกับการให้ ADH สังเคราะห์ชดเชย

**2. Syndrome of inappropriate ADH secretion (SIADH)** เป็นภาวะที่มีการหลั่ง ADH มากกว่าปกติ ทำให้ไตดูดน้ำกลับเข้ามาในร่างกายมากเกิน ระดับโซเดียมในเลือดต่ำลงและมีภาวะน้ำเป็นพิษ มีสาเหตุสำคัญ 2 ประการ ได้แก่

2.1 ความผิดปกติที่ไฮโปทาลามัสและต่อมใต้สมองส่วนหลัง ทำให้มีการหลั่ง ADH มากเกิน อาจเป็นผลจากรอยโรคในสมอง เช่น สมองและเยื่อหุ้มสมองอักเสบ หรือการได้รับบางชนิด เช่น chlorpropamide (รักษาเบาหวาน) vincristine และ vinblastin (รักษามะเร็ง) หรือยาสลบบางชนิด

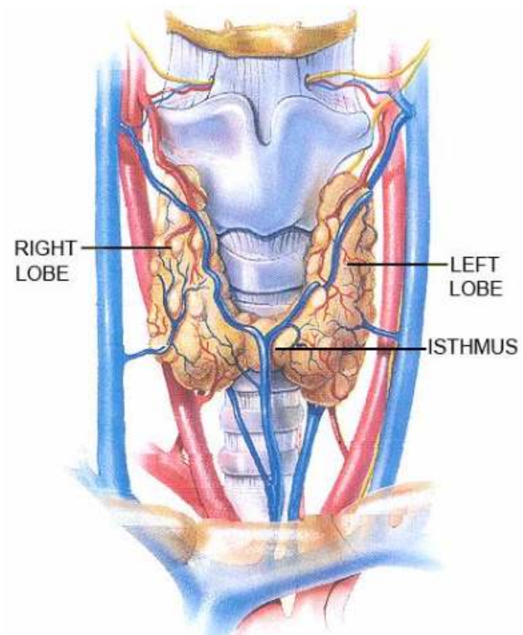
2.2 มีการสร้าง ADH จากเนื้อเยื่ออื่นๆ เช่น มะเร็งปอด มะเร็งตับอ่อน

## ตอนที่ 4

## ต่อมไทรอยด์ (Thyroid gland)

ต่อมไทรอยด์เป็นต่อมไร้ท่อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในร่างกาย เก็บฮอร์โมนไว้มากที่สุดและเป็นต่อมที่มีเลือดมาเลี้ยงในปริมาณสูง ทำหน้าที่สังเคราะห์และหลั่งไทรอยด์ฮอร์โมน ซึ่งมีความสำคัญมากสำหรับการเจริญเติบโตของร่างกาย และควบคุมเมตาบอลิซึมของเนื้อเยื่อต่าง ๆ

ต่อมมีสีน้ำตาลแดงเนื่องจากมีเลือดมาเลี้ยงมาก ฝังอยู่ด้านหน้าหลอดลมคอ ระดับกระดูกคออันที่ 6 ถึงกระดูกสันหลังส่วนอกอันที่ 1 ต่อมมี 2 พู (lobe) ได้แก่ **พูข้างซ้าย (left lobe)** และ **พูข้างขวา (right lobe)** แต่ละพูมีลักษณะเป็นรูปกรวยปลายชี้ขึ้นด้านบนค่อนมาทางด้านหลัง หนา 2-2.5 ซม. ยาว 3-4 ซม. และกว้าง 1.5-2 ซม. พูข้างขวาใหญ่กว่าพูข้างซ้ายเล็กน้อย พูทั้งสองข้างเชื่อมต่อตรงกันตรงกลางด้วยส่วนคอด เรียกว่า **isthmus** และอาจพบพูยื่นออกจาก isthmus ปลายชี้ขึ้นทางด้านบน เรียกว่า **pyramidal lobe** (พบประมาณ 15% ของประชากร) โดยปกติต่อมหนักประมาณ 15-30 กรัม โตเล็กน้อยในเพศหญิง และจะโตมากขึ้นเมื่อมีประจำเดือน ขนาดของต่อมจะมีขนาดลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น





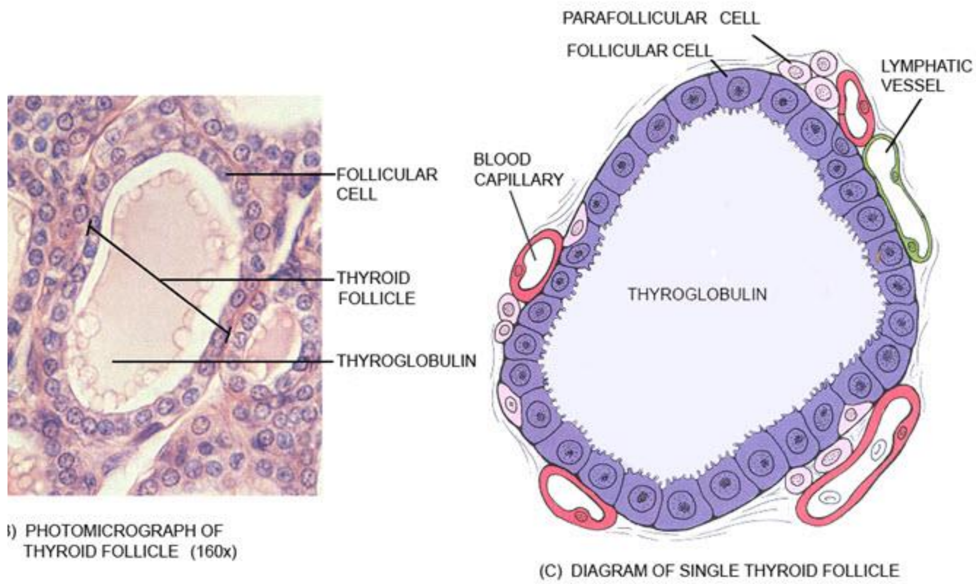

รูปที่ 16-14 แสดงกายวิภาคของต่อมไทรอยด์

**จุลกายวิภาคของต่อมไทรอยด์**

ต่อมมีถุงหุ้มบางๆ และมีบางส่วนของถุงหุ้มยื่นเป็นผนังกั้น (septum) แบ่งต่อมเป็นกลีบ (lobe) และกลีบย่อย (lobules) แต่ละกลีบย่อยประกอบด้วยเซลล์รูปลูกบาศก์ เรียกว่า follicular cells เรียงตัวชั้นเดียวเป็นถุงทรงกลมเล็กๆ จำนวนมาก เรียกว่า **ฟอลลิเคิล (follicle)** เป็นที่สร้างฮอร์โมน ฮอร์โมนมีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายวุ้นหรือคอลลอยด์ เรียกว่า **ไทโรโกลบูลิน (thyroglobulin)** ซึ่งก็คือไทรอยด์ฮอร์โมน (thyroid hormone) นั่นเอง

ไทรอยด์ฮอร์โมน มี 2 ชนิด คือ **Tetraiodothyronine (thyroxine, $T_4$)** และ **Triiodothyronine ($T_3$)** เมื่อเข้าสู่กระแสเลือดจะจับกับตัวพา โดยเฉพาะโกลบูลินมากที่สุด และเฉพาะฮอร์โมนที่แตกตัวเป็นอิสระจึงจะออกฤทธิ์ได้ ฮอร์โมนในเลือดมี $T_4$ มากกว่า $T_3$ คือมี $T_4$ ประมาณ 90 ng/ml ของพลาสมา แต่ $T_3$ จะมีน้อยกว่า คือมีประมาณ 3

ng/ml แต่มีความสามารถในการออกฤทธิ์มากกว่า 3-4 เท่า ฮอร์โมนจะออกฤทธิ์ในรูปของ T3 (T4 จะเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ T3 ก่อนจึงออกฤทธิ์ได้)




รูปที่ 16-15 แสดงจุลกายวิภาคของต่อมไทรอยด์

เซลล์ follicular cells มีนิวเคลียสกลมใส ในภาวะพักเซลล์มีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยม เซลล์อาจมีรูปร่างเตี้ยลงหรือมีขนาดสูงขึ้นจากการทำงานมาก โดยการกระตุ้นจาก thyroid stimulating hormone (TSH) ที่สร้างจากสมองต่อมใต้สมองส่วนหน้า ช่องว่างระหว่าง follicle พบเซลล์ที่เรียกว่า parafollicular cells แทรกอยู่ เซลล์ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนชื่อ Calcitonin (thyrocalcitonin) ซึ่งมีหน้าที่ลดระดับแคลเซี่ยมในเลือดให้ต่ำลง โดยลดการดูดซึมแคลเซี่ยมกลับจากท่อไต และลดการสลายแคลเซี่ยมจากกระดูก

**การสังเคราะห์ไทรอยด์ฮอร์โมน**

**1. Uptake of Iodide (Iodide uptake)**

=> ที่ผนังเซลล์ follicle cells พบ $Na^+/I^-$ symporter ทำหน้าที่ในการลำเลียงโซเดียม 2 ตัวและไอโอไดด์ 1 จากหลอดเลือดเข้าสู่เซลล์ ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงาน

**2. Oxidation and Iodination (Organification)**

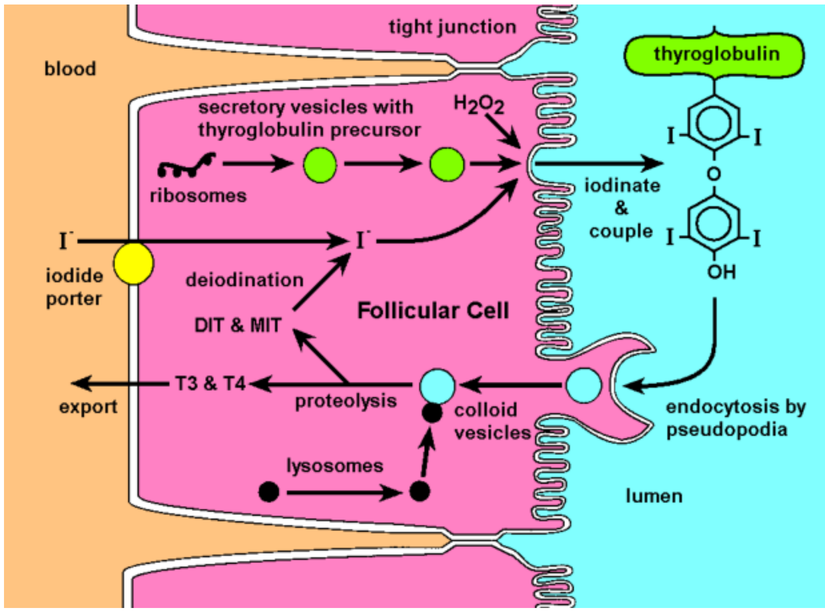
=> ไอโอไดด์ใน follicular cells จะถูกลำเลียงไปยัง colloid ผ่านทาง $Cl^-/I^-$ exchanger (Pendrin) ภายใน colloid มีเอนไซม์ thyroid peroxidase ซึ่งทำหน้าที่ในการ oxidation เปลี่ยน iodide ($I^-$) เป็น iodine ($I^+$) หลังจากนั้น tyrosine บน thyroglobulin จะถูกเติม iodine บน carbon ตำแหน่งที่ 3 และ/หรือ 5 (organification of iodine) ทำให้เกิดเป็น monoiodotyrosine (MIT) และ diiodotyrosine (DIT)

**3. Formation of Thyroxine and Triiodothyronine (Coupling)**

=> DIT 2 โมเลกุล จะรวมกันเป็น $T_4$ เอนไซม์ที่มีบทบาทในกระบวนการนี้ คือ thyroid peroxidase สำหรับ $T_3$ เกิดจากการรวมกันของ MIT และ DIT

**4. Synthesis and Secretion of Thyroid Hormones**

Colloid จะถูกเยื่อหุ้มเซลล์หุ้มเป็นถุง (vesicle) และส่งกลับเข้า follicular cell โดยวิธี pinocytosis หลังจากนั้นจะถูกเอ็นไซม์ lysosome ย่อยพันธะเปปไทด์ (peptide bonds) บน thyroglobulin ได้เป็น free $T_4$ และ free $T_3$ ออกมายัง cytosol และส่งเข้ากระแสเลือดทางเส้นเลือดฝอยต่อไป




รูปที่ 16-16 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์ไทรอยด์ฮอร์โมน

**หน้าที่ของไทรอยด์ฮอร์โมน**

**1. กระตุ้นการเจริญเติบโตของร่างกายทั่วๆไป** ช่วยเสริมสร้างกล้ามเนื้อ การเคลื่อนไหว กระตุ้นให้เซลล์สร้างโปรตีนเพิ่มมากขึ้น หากเด็กขาดฮอร์โมนจะไม่เจริญเติบโตตามปกติ แม้จะมี growth hormone ปกติก็ตาม ฮอร์โมนมีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของทารกตั้งแต่อยู่ในครรภ์ หากขาดฮอร์โมน จะพบความผิดปกติของกระดูกชัดเจน เด็กจะตัวเตี้ยแคระ และมีปัญญาอ่อน เรียกว่า **cretinism**

**2. ผลต่อเมตาบอลิซึม**

**2.1 การสร้างความร้อน และการใช้ออกซิเจน** ควบคุมอัตราการเผาผลาญสารอาหารต่างๆ ในร่างกาย ทำให้เกิดความอบอุ่นกับร่างกาย ทำให้ Basal Metabolic Rate (BMR) เพิ่มสูงขึ้น โดยกระตุ้นเพิ่มการใช้ออกซิเจน

**2.2 เมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรท** มีผลกระตุ้นทุกขั้นตอนของคาร์โบไฮเดรทเมตาบอลิซึม กระตุ้นการสร้างกลูโคส (gluconeogenesis) เพิ่มการดูดซึมกลูโคสเพื่อใช้เป็นพลังงาน เร่งกระบวนการสลายไกลโคเจนเป็นกลูโคส (glycogenolysis)

**2.3 เมตาบอลิซึมของไขมัน** ลดการสร้างไขมันและโคเลสเตอรอลในเลือด เพิ่มการสลายไขมัน (lipolysis) จากเนื้อเยื่อไขมัน ทำให้มีกรดไขมันอิสระในเลือดเพิ่มมากขึ้น เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน

**2.4 เมตาบอลิซึมของโปรตีน** ฮอร์โมนในขนาดปกติ มีผลการกระตุ้นการหมุนเวียนให้มีการสร้างและสลายตลอดเวลา ถ้าขาดฮอร์โมนการสร้างและสลายโปรตีนจะช้าลง ทำให้โปรตีนจับกับสารโพลิแซคคาไรด์ กรดไฮยาลูโร

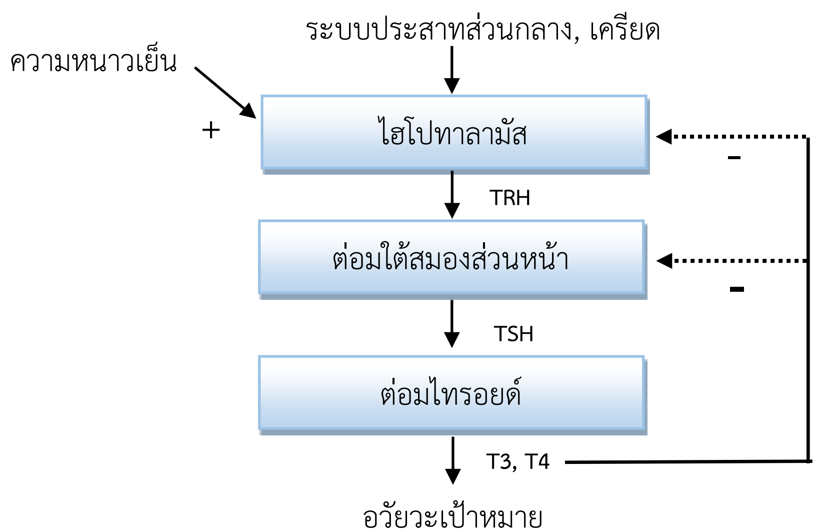
นิก และคอนดรอยตินซัลเฟต รวมตัวกันเป็นเมือกสะสมใต้ผิวหนัง และดูดน้ำทำให้มีอาการบวมน้ำใต้ผิว และอ้วนฉุ เรียกว่า **Myxedema**

**2.5 เมตาบอลิซึมของวิตามิน** เพิ่มความต้องการของวิตามิน เพราะวิตามินเป็นสารตั้งต้นของตัวกระตุ้นสารเร่งปฏิกริยา (coenzyme) เพื่อใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกาย

**2.6 ผลต่อระบบประสาท** มีผลต่อการทำงานของระบบประสาท ถ้าขาดฮอร์โมนจะคิดอะไรได้เชื่องช้า แต่ถ้ามีฮอร์โมนมากไปจะรู้สึกกระวายกระวาย หงุดหงิดง่าย

**การควบคุมการหลั่งไทรอยด์ฮอร์โมน**

ไทรอยด์ฮอร์โมนถูกควบคุมโดย TSH ซึ่งมีผลต่อการสร้างและการหลั่งฮอร์โมน ขณะเดียวกัน $T_3$ และ $T_4$ ที่สูงในเลือด จะกลับไปยับยั้งต่อมใต้สมองส่วนหน้าโดยตรง หรือไปยับยั้งที่ระดับไฮโปทาลามัสเพื่อยับยั้ง TRH ในทางตรงข้ามถ้าระดับ $T_3$ และ $T_4$ ในเลือดลดลง จะกระตุ้นไฮโปทาลามัสให้หลั่ง TRH เพื่อกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้หลั่ง TSH ซึ่ง TSH จะไปกระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้สร้าง $T_3$ และ $T_4$ ต่อไป




รูปที่ 16-17 แสดงการควบคุมการหลั่งฮอร์โมน (+ หมายถึง การกระตุ้น, - หมายถึง การยับยั้ง)

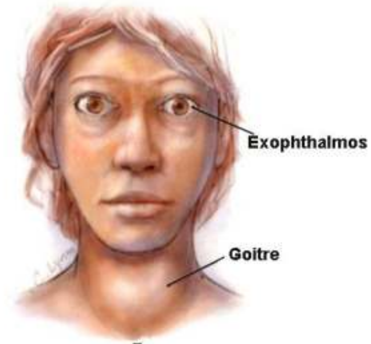
**ภาวะความผิดปกติของไทรอยด์ฮอร์โมน**

**1. คอพอก (Goitre)** หมายถึง " *ภาวะที่ต่อมไทรอยด์มีขนาดโตกว่าปกติ* อาจมีสาเหตุจาก

**1.1 ได้รับสาร goitrogens มากเกินไป** สารนี้ไปยับยั้งการสังเคราะห์ไทรอยด์ฮอร์โมน โดยการไปยับยั้งการส่งผ่านไอโอดีน ได้แก่สารพวก thiocyanate, thiouracil ซึ่งพบในกระหล่ำปลี หัวผักกาด เป็นต้น

**1.2 การได้รับสารไอโอดีนในอาหารน้อยผิดปกติ** ขาดเอ็นไซม์ในการสังเคราะห์หรือร่างกายต้องการฮอร์โมนมากกว่าปกติในวัยรุ่น สตรีตั้งครรภ์ และไม่ว่าด้วยสาเหตุใด ผู้ป่วยจะมีระดับฮอร์โมนในเลือดต่ำ จึงกระตุ้นการสร้างและการหลั่ง TSH เพื่อมากระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้โตขึ้น (hyperplasia) ถ้ายังสังเคราะห์ไม่พอจะเป็นแบบ hypothyroid goitre แต่ถ้ามากเกินจะเกิดภาวะเป็นพิษ (toxic goitre)




รูปที่ 16-18 แสดงลักษณะผู้ป่วยที่มีคอพอก (A) และลักษณะตาโปน Exophthalmos (B)

**2. ไทรอยด์ฮอร์โมนมากเกินไป (Hyperthyroidism) หรือต่อมไทรอยด์เป็นพิษ (thyrotoxicosis)**

เป็นภาวะที่มีไทรอยด์ฮอร์โมนมากความต้องการของร่างกาย จะโดยสาเหตุที่ต่อมสร้างไทรอยด์ฮอร์โมนมากเกินไป เป็นเนื้องอก หรือจากการรับประมาณฮอร์โมนสังเคราะห์มากเกินไป อาการพบอัตราการเผาผลาญอาหารสูง มีความร้อนในร่างกายมากขึ้น ขี้ร้อน เหงื่อออกมาก ซูบผอม เหนื่อยง่าย หายใจแรงและเร็ว หัวใจ เต้นเร็ว รู้สึกใจสั่น มือสั่น ท้องเสีย หงุดหงิด ตกใจง่าย นอนไม่หลับ ขาดสมาธิ อารมณ์แปรปรวน ผู้ป่วยบางรายมีตาโปน (exophthalmos) จากการที่เนื้อเยื่อหลังลูกตาบวม

**โรคเกรฟส์ หรือ โรคคอพอกตาโปน (Graves' disease)** เป็นสาเหตุที่พบได้บ่อยที่สุดประมาณ 60-80% ของผู้ป่วยไทรอยด์เป็นพิษทั้งหมด เป็นโรคที่พบได้มากในวัยรุ่นและวัยกลางคน (คนที่อายุประมาณ 20-40 ปี) พบในผู้หญิงมากกว่าผู้ชายประมาณ 5-10 เท่า สาเหตุของการเกิดโรคยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเกิดจากอะไร แต่พบว่ามีความสัมพันธ์กับเพศ (เพราะพบในผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย) และกรรมพันธุ์ (เพราะพบว่าผู้ป่วยบางรายมีประวัติพ่อแม่พี่น้องเป็นโรคนี้ด้วย) การสูบบุหรี่จะยิ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคนี้มากขึ้น โรคนี้จัดเป็นโรคภูมิต้านตนเอง (Autoimmune disease) ชนิดหนึ่ง ซึ่งพบว่ามีการสร้างสารภูมิต้านทานต่อไทรอยด์ ซึ่งมีอยู่หลายชนิด ที่สำคัญได้แก่ Thyroid-stimulating immunoglobulin (TSI) ซึ่งจะไปจับกับตัวรับฮอร์โมนกระตุ้นไทรอยด์หรือทีเอสเอช (Thyroid-stimulating hormone : TSH) ที่ต่อมไทรอยด์กระตุ้นให้ต่อมไทรอยด์หลั่งฮอร์โมนออกมาโดยอยู่นอกเหนือการควบคุมของต่อมใต้สมอง ทำให้มีฮอร์โมนไทรอยด์มากเกินจนเกิดภาวะไทรอยด์เป็นพิษ โรคนี้มักเป็นเรื้อรัง ผู้ป่วยบางรายอาจมีระยะสงบ (หายจากอาการเจ็บป่วย) แต่ก็อาจกำเริบได้ใหม่

**การรักษา**

1. ให้ยายับยั้งการสังเคราะห์ฮอร์โมน
2. ฉายแสง เพื่อทำลายเซลล์บางส่วนของต่อม
3. ผ่าตัดเนื้อต่อมบางส่วนออก

**3. ไทรอยด์ฮอร์โมนน้อยกว่าปกติ (Hypothyroidism)**

เป็นภาวะที่มีการสร้างไทรอยด์ฮอร์โมนน้อยกว่าความต้องการของร่างกาย อาจเป็นเพราะสร้างไม่พอ หรือเซลล์เป้าหมายไม่ตอบสนองต่อฮอร์โมนซึ่งมีระดับปกติ หรือมีตัวรับฮอร์โมนผิดปกติ เกิดโรคของต่อมไทรอยด์เอง ต่อมไม่ทำงาน การผ่าตัดเนื้อต่อมออกมากเกินไป การฉายแสง การขาดไอโอดีนอย่างมาก การทำงานของเอ็นไซม์ผิดปกติ หรือเกิดโรคที่

ต่อมใต้สมอง หรือที่ไฮโปทาลามัส ทำให้ระดับฮอร์โมนไม่เพียงพอ ทำให้ TSH มีระดับเพิ่มขึ้นเพื่อกระตุ้นการเจริญของต่อมให้มีขนาดโตขึ้น มีลักษณะของคอพอก แต่ต่อมก็ยังไม่สามารถสังเคราะห์ฮอร์โมนได้

**3.1 Cretinism** หมายถึง ภาวะที่มีไทรอยด์ฮอร์โมนน้อยกว่าปกติตั้งแต่เด็กทารก ทำให้พัฒนาการของสมองผิดปกติ การเจริญเติบโตของร่างกายและกระดูกช้ากว่าปกติ หากไม่ได้รับการรักษาทันท่วงที เด็กจะปัญญาอ่อน (mental retardation) ร่างกายแคระแกรน แขนขาสั้น ผมบาง พุงยื่น ฟันขึ้นช้า กล้ามเนื้ออ่อนแรง ลิ้นใหญ่คับปาก หายใจลำบาก ตัวเขียว อาจหูหนวกเป็นใบ้ ในเด็กอ่อนจะไม่ค่อยดูดนมและร้องเสียงแหบ

**3.2 Myxedema** หมายถึง ภาวะที่มีการขาดไทรอยด์ฮอร์โมนอย่างรุนแรงในผู้ใหญ่ มีอาการอ่อนเพลีย ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ เหนื่อยง่าย เสียงแหบ สมองทำงานช้าลง การตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นลดลง ร่างกายอ้วนเทอะทะ น้ำหนักเพิ่ม ตัวบวม อัตราการเผาผลาญในร่างกายลดลง ชาตามตัว เป็นตะคริว ขี้หนาว เบื่ออาหาร ท้องผูก เส้นผมแห้งและบาง ผมร่วง หายใจช้าลง อัตราการเต้นของหัวใจช้าลง ความดันโลหิตลดลง หมดสติและเสียชีวิต



A. Cretinism



B. Myxedema

รูปที่ 16-19 แสดงลักษณะของเด็กที่ขาดไทรอยด์ฮอร์โมน (A) และผู้ใหญ่ที่ขาดไทรอยด์ฮอร์โมน (B)

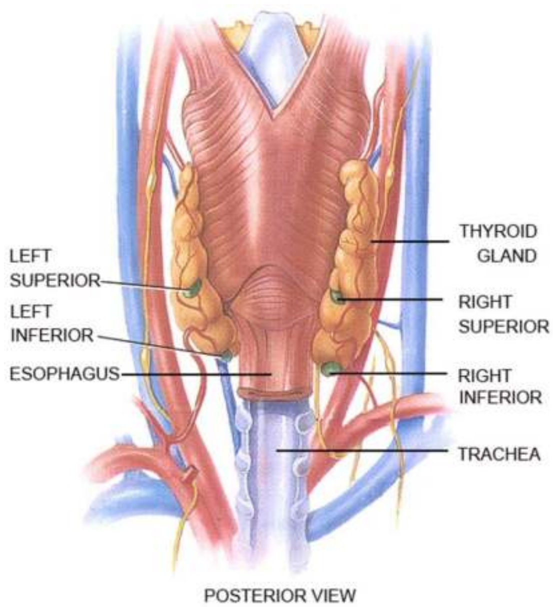
**การรักษา**

ตรวจเลือดวัดระดับฮอร์โมนในเลือด ให้ฮอร์โมนสังเคราะห์ชดเชย โดยเฉพาะในช่วงแรกเกิดถึงขวบปีแรก ถ้าไม่ได้รับฮอร์โมนชดเชยเด็กจะเติบโตเป็นเด็กปัญญาอ่อน

************************************

## ตอนที่ 5
## ต่อมพาราไทรอยด์ (Parathyroid Glands)

Parathyroid glands มีรูปร่างกลมรีเหมือนเม็ดถั่วเหลือง สีน้ำตาลอมเหลือง โดยทั่วไปมีอยู่ 4 ต่อม แบ่งเป็น 2 ข้างๆ ละ 2 ต่อม ได้แก่ ต่อมคู่บน (superior parathyroid glands) และต่อมคู่ล่าง (inferior parathyroid glands) อาจมีจำนวนแตกต่างกันในแต่ละคน ต่อมฝังอยู่ในต่อมไทรอยด์ทางด้านหลังใต้เยื่อหุ้มของต่อมไทรอยด์ หนักประมาณ 50-300 มก. อาจมีขนาดและน้ำหนักไม่เท่ากัน ต่อมคู่ล่างมักมีขนาดใหญ่กว่า




รูปที่ 16-20 แสดงต่อมพาราไทรอยด์ทางด้านหลัง

**จุลกายวิภาคของต่อมพาราไทรอยด์**

ต่อมมีถุงหุ้มบางมาก และถูกหุ้มอีกชั้นโดยถุงหุ้มของต่อมพาราไทรอยด์ จากถุงมีแผ่นกั้นยื่นเข้าไปในเนื้อต่อม มีเซลล์ค้ำจุนและหลอดเลือดฝอยแทรกอยู่ทั่วไป เซลล์ที่พบในต่อมพาราไทรอยด์ ได้แก่

**1. Chief cells (Principal cells)** พบมากที่สุด ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน parathyroid hormone (PTH) หรือ parathormone

**2. Oxyphil cells** เป็นเซลล์ที่พัฒนามาจาก chief cells มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามอายุ สังเคราะห์และหลั่งฮอร์โมนได้เล็กน้อย

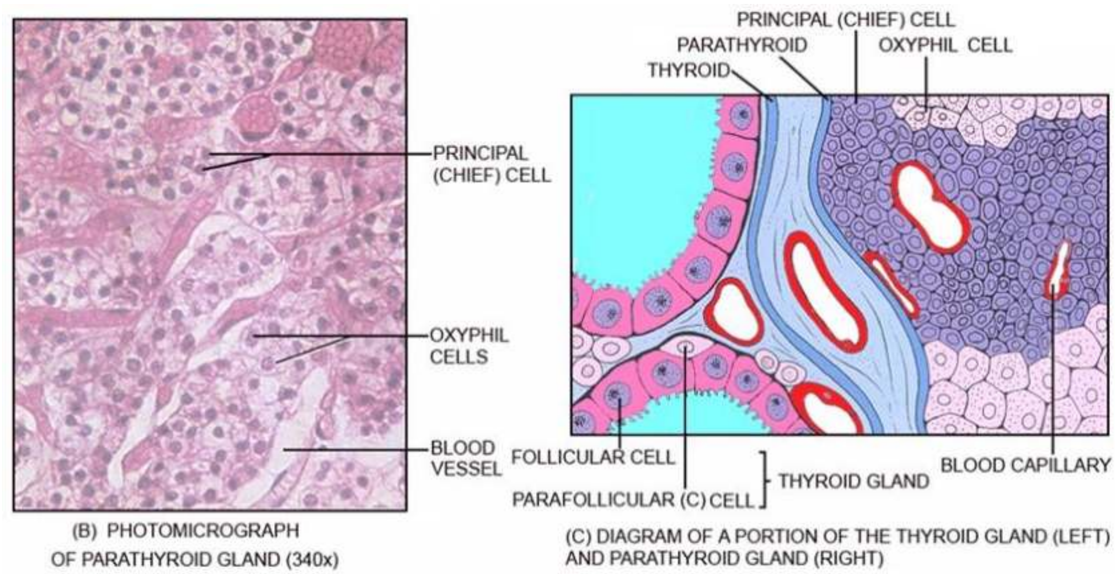
**บทบาทและหน้าที่ของพาราไทรอยด์ฮอร์โมน**

พาราไทรอยด์ฮอร์โมน ทำหน้าที่ควบคุมแคลเซี่ยมในเลือดให้สูงขึ้น และลดฟอสเฟต ดังนี้

**1. กระดูก** เพิ่มจำนวนและกระตุ้นเซลล์ชื่อ osteoclast ทำหน้าที่สลายแคลเซี่ยมจากกระดูก (bone resorption) เข้าสู่กระแสเลือด

**2. ไต** เพิ่มการดูดแคลเซี่ยมกลับที่เซลล์บุท่อไต

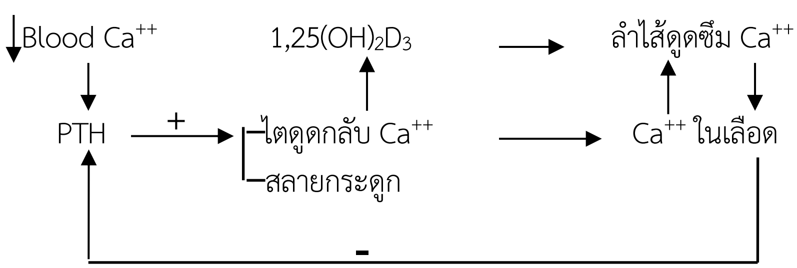
**3. การดูดซึมแคลเซี่ยมที่ลำไส้เล็ก** มีผลทางอ้อม กล่าวคือ ฮอร์โมนไปกระตุ้นการสร้าง 1,25 dihydroxy cholecalciferol (1,25$(OH)_2D_3$) ซึ่งเป็น active form ของวิตามินดี มีผลกระตุ้นการดูดซึมแคลเซี่ยมจากลำไส้




รูปที่ 16-21 แสดงกายวิภาคของต่อมพาราไทรอยด์

**การควบคุมการหลั่งพาราไทรอยด์ฮอร์โมน**

โดยระดับแคลเซี่ยมในเลือด หากระดับแคลเซี่ยมลดลงอย่างเฉียบพลัน อัตราการหลั่งฮอร์โมนจะเพิ่มสูงขึ้นทันที 5 เท่าของปกติ ในทางตรงข้ามระดับแคลเซี่ยมที่สูงขึ้นจะยับยั้งการหลั่ง PTH




รูปที่ 16-22 การควบคุมการหลั่งพาราไทรอยด์ฮอร์โมน

**ภาวะความผิดปกติของต่อมพาราไทรอยด์**

**1. ต่อมพาราไทรอยด์หลั่งฮอร์โมนมากเกินไป (Hyperparathyroidism)**

สาเหตุจากมีระดับฮอร์โมนสูงผิดปกติ ผู้ป่วยจะมีแคลเซี่ยมในเลือดสูง (hypercalcemia) ฟอสเฟตต่ำ พบแคลเซียมในปัสสาวะ อาจเกิดนิ่วในไต นิ่วในกระเพาะปัสสาวะ การสลายกระดูกจะทำให้กระดูกกร่อนเสียรูปจนบางและหักง่าย ปวดในกระดูก กล้ามเนื้ออ่อนแรง ลำไส้เคลื่อนไหวช้า ไม่เจริญอาหาร อาเจียน ท้องผูก มีการหลั่งกรดมาก



A. กระดูกปกติ



B. กระดูกพรุนจากการขาดแคลเซี่ยม

รูปที่ 6-23 แสดง A. กระดูกปกติ B. กระดูกพรุนจากการขาดแคลเซี่ยมในผู้ป่วยที่ต่อมพาราไทรอยด์หลั่งฮอร์โมนมากเกินไป

**2. ต่อมพาราไทรอยด์หลั่งฮอร์โมนน้อยเกินไป (Hypoparathyroidism)**

มักเกิดจากการตัดต่อมพาราไทรอยด์ออก ทำให้ระดับแคลเซี่ยมจะลดลง อาการเริ่มตั้งแต่อ่อนเพลีย สับสน สมองมึนงง ระบบประสาทและกล้ามเนื้อไวต่อสิ่งเร้า (hyperexcitability) มีอาการชาตามมือเท้า กล้ามเนื้อหดรัดตัว เกร็งเป็นตะคริวที่มือและเท้า มีอาการชักกระตุก (tetany) บริเวณหน้า ปอดไม่ทำงาน และเสียชีวิตได้

เกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อและประสาท เช่น ประสาทและกล้ามเนื้อจะไวต่อการตอบสนองมากกว่าปกติ ซึ่งตรวจสอบได้ง่ายๆ คือ โดยการใช้เครื่องวัดความดันรัดแขน จนเกินความดันซีสโตลิกเพื่อบีบเส้นเลือดให้ตีบ กล้ามเนื้อจะขาดแคลเซี่ยมไปเลี้ยง จะเกิดอาการกล้ามเนื้อเกร็ง มือกระตุกงอ (carpal spasm) ภายใน 3 นาที เรียกอาการนี้ว่า **อาการของทรูโซ (Trousseau's sign)**



A



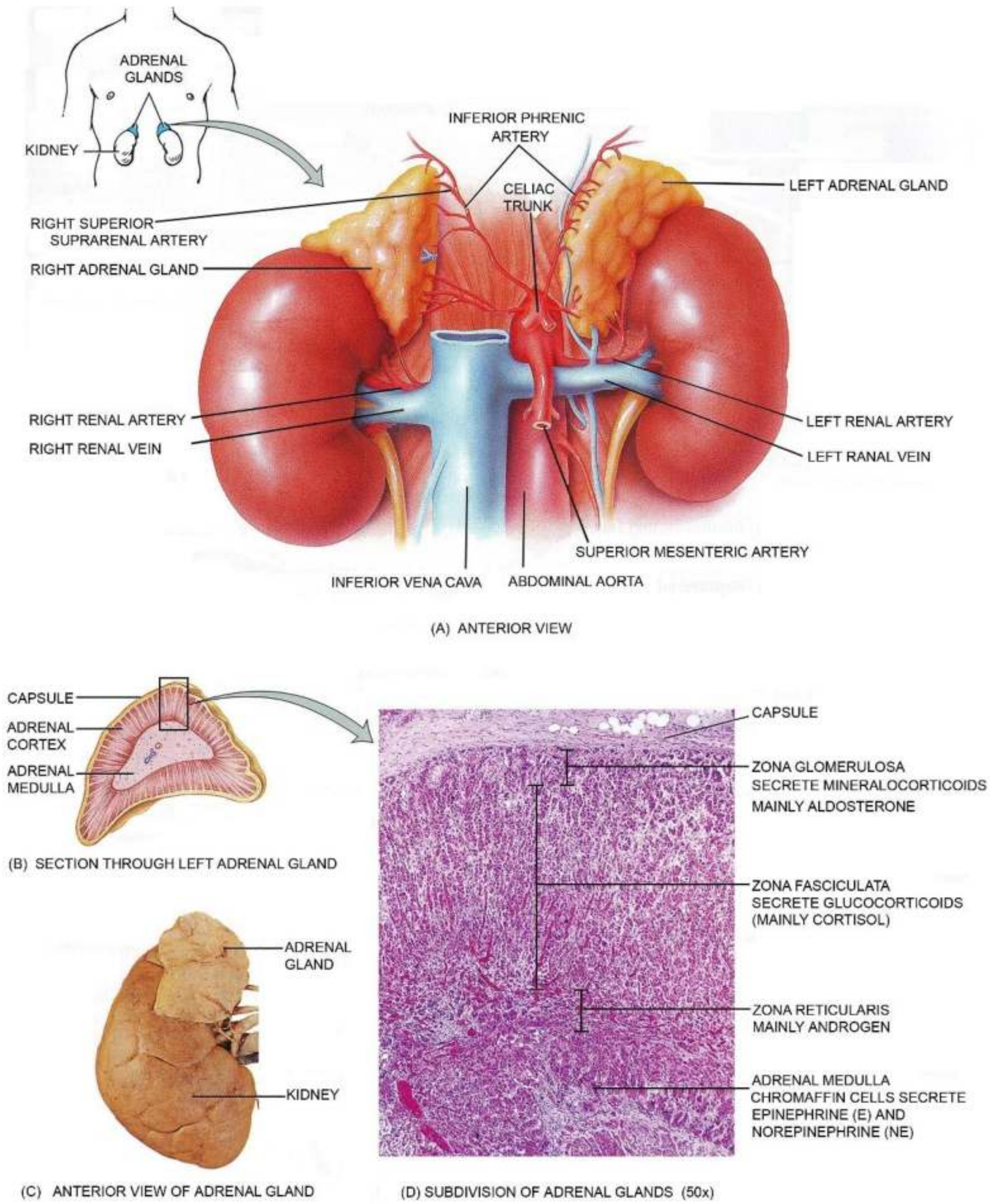
B

รูปที่ 16-24 แสดงอาการของทรูโซ (Trousseau's sign)

***********************************

## ตอนที่ 6
## ต่อมหมวกไต (Adrenal Glands, Suprarenal Glands)

ต่อมหมวกไต เป็นก้อนเนื้อสีเหลืองแบน แต่ละก้อนวางอยู่ในแต่ละข้างของแนวกลางตัวหลังเยื่อบุช่องท้อง และอยู่ติดด้านบนค่อนไปทางด้านหน้าของขั้วขนของไต มักถูกห่อหุ้มโดยรอบด้วยเนื้อเยื่อไขมันหลวมๆ เรียกว่า perinephric fat และถูกหุ้มรวมอยู่กับไตในเยื่อพังผืดหุ้มไต (renal fascia) โดยทั่วไป ต่อมหมวกไตสูง 3-5 ซม. กว้าง 2-3 ซม. หนาไม่เกิน 1 ซม. น้ำหนักเฉลี่ย 3.5-5 กรัม และไม่ขึ้นกับเพศ อายุและรูปร่าง




รูปที่ 16-25 แสดงกายวิภาคของต่อมหมวกไต

**จุลกายวิภาคของต่อมหมวกไต**

ต่อมหมวกไตมีถุงหุ้มเป็นเนื้อยึดต่อ ต่อมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน คือ ต่อมหมวกไตชั้นนอก (adrenal cortex) ซึ่งอยู่ใต้ต่อถุงหุ้มเข้าไป และต่อมหมวกไตชั้นใน (adrenal medulla) ซึ่งถูก adrenal cortex หุ้มไว้อีกที

**1. ต่อมหมวกไตชั้นนอก (Adrenal cortex)**

อยู่ด้านนอกสุด หนักประมาณ 90% ของน้ำหนักต่อม แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

**1.1 Zona glomerulosa** อยู่นอกสุด อยู่ติดกับเยื่อหุ้มต่อม เป็นชั้นบางๆ เซลล์มีขนาดเล็ก สร้างและหลั่งกลุ่มฮอร์โมนพวก **mineralocorticoids** ได้แก่ **aldosterone** ทำหน้าที่ควบคุมสมดุลเกลือแร่ในร่างกาย

**1.2 Zona fasciculata** อยู่ตรงกลาง เป็นชั้นที่กว้างที่สุดของต่อมหมวกไตชั้นนอก เซลล์หลั่ง และหลั่งกลุ่มฮอร์โมน **glucocorticoids** ได้แก่ **cortisol**, cortisone และ corticosterone ทำหน้าที่ควบคุมเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรท ไขมัน และโปรตีน

**1.3 Zona reticularis** อยู่ในสุด เป็นชั้นบางๆ สร้างและหลั่งฮอร์โมนเพศชาย **androgen** เช่น dehydro epiandrosterone (DHEA) ซึ่งมีจำนวนน้อยกว่าที่สร้างจากอัณฑะ

**ฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์ (Glucocorticoid)**

ฮอร์โมนที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ **คอร์ติซอล (cortisol)** เป็นฮอร์โมนที่มีความจำเป็นที่มีความสำคัญต่อชีวิต ถ้าขาดฮอร์โมนจะมีผลอย่างมากต่อเซลล์ของร่างกาย

**หน้าที่ของ Cortisol**

1. **เพิ่มระดับน้ำตาลในกระแสเลือด** กลูโคคอร์ติคอยด์ได้ชื่อว่าเป็นฮอร์โมนแห่งการอดอาหาร (hormone of starvation) เพราะว่าจะกระตุ้นเซลล์ตับให้เปลี่ยนกรดไขมันและกรดอะมิโนบางตัวเป็นกลูโคส และเก็บสะสมไว้ในรูปของไกลโคเจน (gluconeogenesis) เรียกว่า กลูโคส สแปริ่ง เอฟเฟ็ก (glucose – sparing effect) ซึ่งเป็นขบวนการที่สำคัญเพราะจะมีผลในการเผื่อน้ำตาลกลูโคสไว้ให้สมองใช้งานได้ตลอดเวลา
2. **กดระบบภูมิคุ้มกัน** (immunosuppressive effect) ยับยั้งกลไกการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย ช่วยลดการสลัดอวัยวะที่ปลูกถ่าย (organ rejection) แต่กลูโคคอร์ติคอยด์จะไม่มีผลต่อภูมิคุ้มกันที่ได้รับจากภายนอก เช่น การได้รับวัคซีนที่เป็นอิมมูนต่างๆ (immune)
3. **ต่อต้านการอักเสบ** (anti inflammatory effect) โดยการลดการเคลื่อนที่ของเม็ดเลือดขาว ไปยังบริเวณที่อักเสบ ลดการเกิดหนอง (exudation) และลดการแพ้สารต่างๆ โดยยับยั้งการหลั่งฮีสตามีน แต่เนื่องจากระบบป้องกันตนเอง (defense mechanism) ถูกยับยั้งด้วย ทำให้เกิดผลเสียคือ ทำให้มีการแพร่กระจายของเชื้อโรค ทำให้ติดเชื้อง่าย และทำให้ลดภูมิคุ้มกันต่อเชื้อแบคทีเรีย (helicobacter pylori) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดโรคกระเพาะอาหาร เพราะทำให้เกิดแผลในกระเพาะ
4. **กระตุ้นการสลายแคลเซียม** โดยการเสริมฤทธิ์ของพาราไทรอยด์ฮอร์โมนทำให้มีแคลเซียมในกระแสเลือดเพิ่มมากขึ้น และลดการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้ ทำให้มีการขับแคลเซียมที่ท่อไตเพิ่มมากขึ้น ลดการสร้างกระดูก ยับยั้งการเติบโตของกระดูก ทำให้เกิดโรคกระดูกผุ
5. **ผลต่อประสาทส่วนกลาง** ทำให้สมองไวต่อสิ่งเร้า และต่อสู้กับความเครียด

**การควบคุมการหลั่ง Cortisol**

การทำงานของต่อมหมวกไตส่วนนอกถูกควบคุมโดย อะดรีโนคอร์ติโคโทรฟิคฮอร์โมน (adrenocorticotrophic hormone : ACTH) ซึ่งเป็นโทรฟิคฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า การหลั่งของ ACTH จะถูกควบคุมอีกทีจากคอร์ติโคโทรฟิน รีลิสซิงฮอร์โมน (corticotrophin releasing hormone: CRH) จากไฮโพทาลามัสมาตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม ได้แก่ ระยะเวลาของแต่ละวัน การเปลี่ยนเวลานอน การอดอาหาร ภาวะเครียด ระดับของคอร์ติซอลที่ลดลงจะย้อนกลับไปกระตุ้นการหลั่ง CRH และ ACTH ได้

ความเครียด การได้รับบาดเจ็บ อารมณ์ ฯ จะกระตุ้นไฮโพทาลามัส ให้หลั่ง CRH ไปกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้หลั่ง ACTH มากระตุ้นที่ต่อมหมวกไตส่วนนอก ให้หลั่งฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนนอกออกมามีผลต่อส่วนต่างๆ ของร่างกาย แต่เมื่อระดับฮอร์โมนของต่อมหมวกไตส่วนนอกมีมากเพียงพอ จะไปยับยั้งไฮโพทาลามัสและต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้ลดการหลั่ง CRH และ ACTH ทำให้ฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตปกติ

ระดับของฮอร์โมนจะสูงต่ำตามระดับของอะดรีโนคอร์ติโคโทรฟิคฮอร์โมน (adrenocorticotrophic hormone : ACTH) ซึ่งส่งมาควบคุมจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ACTH จะมีการหลั่งเป็นการควบคุมในรอบ 24 ชั่วโมง (circadian rhythm หรือ diurnal ซึ่งแปลว่า กลางวัน-กลางคืน) คือ มีการหลั่งสูงสุดตอนเช้ามืด ก่อนตื่นนอนจนถึงตอนเช้า ในช่วงกลางวันจะลดลงไปเรื่อยๆ จะต่ำสุดในช่วงกลางคืนและก่อนนอน เป็นเช่นนี้ทุกวัน

**ภาวะความผิดปกติของ Cortisol**

**1. Cushing's disease** เป็นความผิดปกติที่เกิดจากมีระดับฮอร์โมนมากเกินไป สาเหตุสำคัญจากมีการขยายตัวของต่อม มีเนื้องอกของต่อมใต้สมอง หรือได้รับฮอร์โมนจากภายนอกมากเกินไป ผู้ป่วยจะมีอาการอ่อนเพลีย กินจุ อ้วนผิดส่วน น้ำหนักเพิ่ม มีการสะสมไขมันในส่วนกลางของลำตัว แต่แขนขาลีบ ต้นคอเป็นโหนกงอกออกมา เรียกว่า buffalo hump คางหนา 2 ชั้น ท้องใหญ่ หน้ากลมเหมือนพระจันทร์ (moon face) ผิวบางลง มีรอยแตกที่ผิวหนังหน้าท้องมีลายสีแดง (red striae) อาจขาดประจำเดือน ไม่มีหน้าอก จอนยาวขึ้น มีหนวดเล็กน้อย มีขนขึ้นตามลำตัว อ่อนเพลีย ความดันโลหิตสูง กระดูกผุ ปวดหลัง แคลเซี่ยมในเลือดสูง เป็นแผลในกระเพาะอาหาร เกิดนิ่วในไต เม็ดเลือดแดงเม็ดเลือดขาวลดลง ภูมิต้านทานโรคลดลง กระวนกระวาย นอนไม่หลับ




A. Red striae B. Moon face C. Buffalo hump

รูปที่ 16-26 แสดงลักษณะของผู้ป่วยที่เป็น Cushing's disease

**2. Addison's disease** เป็นความผิดปกติที่เกิดจากมีระดับฮอร์โมนต่อมหมวกไตส่วนนอกทุกตัว สาเหตุที่พบบ่อยจากโรคภูมิแพ้ตัวเอง ต่อมไม่ทำงาน ถูกทำลาย ผู้ป่วยจะมีอาการสมองมึนงง ทนต่อสภาวะเครียดไม่ค่อยได้ กินไม่ได้ นอนไม่หลับ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย ร่างกายสูญเสียน้ำ (hypovolemia) สูญเสียโซเดียม แต่โปตัสเซี่ยมสูง การเสียน้ำ

ทำให้ความดันต่ำ น้ำหนักลด อ่อนเพลีย อาการเด่นชัดที่สำคัญคือ ผิวหนังมีสีคล้ำขึ้น เพราะเมื่อร่างกายขาด cortisol จึงไปกระตุ้นการหลั่ง ACTH ซึ่งมีสูตรโครงสร้างส่วนหนึ่งไปคล้ายกับ MSH จึงมีผลกระตุ้นให้ผิวหนังสีคล้ำลง โดยเฉพาะข้อพับต่างๆ หัวเข่าข้อศอก ฝ่ามือฝ่าเท้า ริมฝีปาก เหงือก และรอบๆ หัวนม ผู้ป่วยอาจเกิดภาวะวิกฤต ที่เรียกว่า Addison's crisis อาจเสียชีวิตได้



รูปที่ 16-27 แสดงลักษณะของผู้ป่วยที่เป็น Addison's disease

## ฮอร์โมนมินเนอราโลคอร์ติคอยด์ (Mineralocorticoid)

ฮอร์โมนมินเนอราโลคอร์ติคอยด์ (mineralocorticoid) ผลิตจากส่วนนอกของต่อมหมวกไตชั้นนอก มีหน้าที่ในการควบคุมความสมดุลของน้ำและแร่ธาตุในร่างกาย ฮอร์โมนที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ **แอลโดสเตอโรน (aldosterone)** ซึ่งมีอวัยวะเป้าหมายส่วนใหญ่ที่ไต

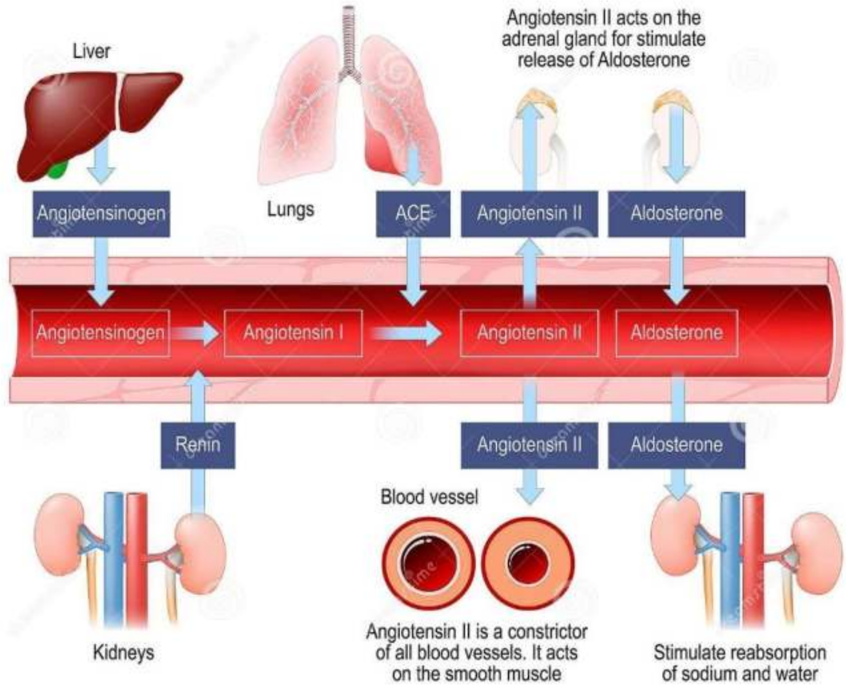
### หน้าที่ของ Aldosterone

Aldosterone มีหน้าที่ในการควบคุมความสมดุลของน้ำและแร่ธาตุในร่างกาย โดยการเพิ่มการดูดกลับของโซเดียมและเพิ่มการขับโปตัสเซียมที่หลอดไตส่วนปลาย (distal renal tubules) ทำให้โซเดียมเพิ่มขึ้นในกระแสเลือดและมีโปตัสเซียมมากขึ้นในปัสสาวะ

ในขณะที่มีการดูดกลับโซเดียมอิออน ร่างกายจะขับไฮโดเจนอิออน ($H^+$) ออกไปทางปัสสาวะเป็นการแลกเปลี่ยน ซึ่งเป็นผลดีคือร่างกายไม่เป็นกรดมากเกินไป ในขณะเดียวกันที่ร่างกายเก็บโซเดียมซึ่งเป็นอิออนบวกไว้ร่างกาย ในณะเดียวกันนำคลอไรด์อิออน ($Cl^-$) และไบคาร์โบเนตอิออน ($HCO3^-$) ซึ่งเป็นขั้วลบเข้ามาในกระแสเลือดด้วย ทำให้ดึงน้ำตามเข้ามาในกระแสเลือดเช่นกัน การขาดแอลโดสเตอโรนจึงเป็นการสูญเสียน้ำและโซเดียมไปกับปัสสาวะ ดังนั้น การทำงานของแอลโดสเตอโรนจึงเป็นการควบคุมปริมาตรเลือดในร่างกาย ความดันโลหิต และความเป็นกรดด่างของร่างกายด้วย

### การควบคุมการหลั่ง Aldosterone

การหลั่งของแอลโดสเตอโรนจะถูกกระตุ้นโดยปริมาณเลือดหรือพลาสมาในระบบไหลเวียนของเส้นเลือดแดง ซึ่งจะพบเมื่อร่างกายขาดโซเดียม เสียเลือด ขาดน้ำ เมื่อปริมาณสารเหลวในร่างกายลดลง ทำให้ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงที่ไตโดยเฉลี่ยลดลง ทำให้ร่างกายกระตุ้นกระบวนการเรนิน – แองจิโอเทนซิน (rennin – angiotensin mechanism) ซึ่งจะทำให้มีการหลั่งเรนินที่จักซตาโกลเมอรูลาร์ อัฟพาราตัส (juxtaglomerular apparatus) เรนินเป็นเอนไซม์ที่หลั่งจากไตเข้าไปในกระแสเลือด ทำหน้าที่เปลี่ยนเองจิโอเทนซิโนเจน ให้เป็นเองจิโอเทนซิน I หลังจากนั้นเอนไซม์ เองจิโอเทนซินคอนเวอทติง (angiotensin converting enzyme : ACE) จะเปลี่ยนเองจิโอเทนซิน I ให้เป็นเองจิโอเทนซิน II ที่ปอด เมื่อสารน้ำในร่างกายต่ำกว่าปกติ ระบบเรนิน – เองจิโอเทนซิน จะไปกระตุ้นหลอดเลือดทำให้หลอดเลือดหดรัดตัวและกระตุ้นการหลั่งแอลโดสเตอโรนที่ต่อมหมวกไตส่วนนอกทำให้เพิ่มปริมาณของโซเดียมและน้ำมากขึ้น ปริมาณเลือดจะเพิ่มขึ้น




รูปที่ 6-28 แสดงการทำงานของแอลโดสเตอโรนตามการควบคุมของกระบวนการเรนิน – แอนจิโอเทนซิน

**ความผิดปกติของ Aldosterone**

**=> ฮอร์โมนมากเกินไป** ซึ่งอาจเกิดจากเนื้องอก หรือได้รับมิเนอราโลคอร์ติคอยด์เกินขนาด จะเกิดภาวะโซเดียมในร่างกายมีมากเกินไป (hypernatremia) และทำให้โปตัสเซียมในร่างกายน้อย (hypokalemia) เกิดภาวะร่างกายเป็นด่าง (metabolic alkalosis) ปริมาณพลาสมาจะเพิ่มขึ้น ความดันโลหิตจะสูงขึ้น

**=> ฮอร์โมนน้อยเกินไป** มักมีสาเหตุเหมือนกับการขาดกลูโคคอร์ติคอยด์ เช่น ในโรคแอดดิสัน (Addison's disease) ถ้าเกิดเนื่องจากขาดแอลโดสเตอโรนอย่างเดียวมักมีอาการขาดน้ำ ความดันโลหิตต่ำ ระดับโซเดียมในเลือดต่ำ (hyponatremia) ระดับโปตัสเซี่ยมสูงเกินไป (hyperkalemia) และเลือดมีความเป็นกรด (acidosis) ซึ่งเป็นอันตรายถึงชีวิต

**ฮอร์โมนเพศชาย Androgen**

สร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอกชั้นในสุด สร้างฮอร์โมนเพศชายที่มีผลต่อร่างกายน้อยกว่าที่ผลิตจากอัณฑะ มีปริมาณทั้งหมดประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของฮอร์โมนเพศชายทั้งหมด โดยจะถูกเปลี่ยนเป็นเทสโทสเทอโรน ที่เป็นรูปที่ออกฤทธิ์

**หน้าที่ของ Androgen**

สร้างจากต่อมหมวกไตชั้นนอกที่อยู่ในสุด มีผลต่อร่างกายน้อยมากเมื่อเทียบกับแอนโดรเจนที่สร้างจากอัณฑะ (15%) จึงไม่พบความผิดปกติในผู้ใหญ่ ยกเว้นในเด็ก อาจมีอาการ ดังนี้

**1. Precocious pseudopuberty** เกิดในเพศชาย ทำให้เข้าสู่วัยรุ่นเร็วกว่าปกติ เช่น มีหนวด เครา เสียงห้าว แต่ยังไม่มีการสร้างสเปอร์ม

**2. Secondary male sexual characteristic (Virilism)** พบในหญิงวัย มีลักษณะที่เกิดจากฮอร์โมนเพศชายมากกว่าปกติ เช่น กล้ามเนื้อใหญ่ตามแขนขา ไม่มีประจำเดือน มีขนตามลำตัวและใบหน้า มีหนวดเครา หัวเถิกล้าน ผิวมันเป็นสิว พฤติกรรมคล้ายชาย

## 2. ต่อมหมวกไตชั้นใน (Adrenal medulla)

ต่อมหลั่งฮอร์โมนแคทีโคลามีน (catecholamine) จาก chromaffin cells ในอัตราสูง เมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะคับขัน เคร่งเครียด ตื่นเต้น ต่อสู้ ตกใจ หนีภัย กลัว หิว เจ็บปวด ออกกำลังกายอย่างหนัก โดยร่างกายจะตอบสนองต่อฮอร์โมนด้วยปฏิกิริยาสู้หรือหนี (Fight or Flight reaction) ต่อมทำงานร่วมกับประสาทซิมพาเทติก ฮอร์โมนออกฤทธิ์ได้เร็วมากและจบอย่างรวดเร็วมากเช่นกัน

ต่อมหลั่งฮอร์โมนแคทีโคลามีน 2 ชนิด คือ เอพิเนฟริน (Epinephrine, E) ในปริมาณ 85% และ นอร์เอพิเนฟริน (Norepinephrine, NE) ในปริมาณ 15% ซึ่งโดยปกติแคทีโคลามีนพบได้ที่ประสาทซิมพาเทติก หากต่อมหมวกไตชั้นในไม่หลั่งแคทีโคลามีน ก็ไม่มีอันตรายต่อชีวิต

### หน้าที่ของฮอร์โมนแคทีโคลามีน

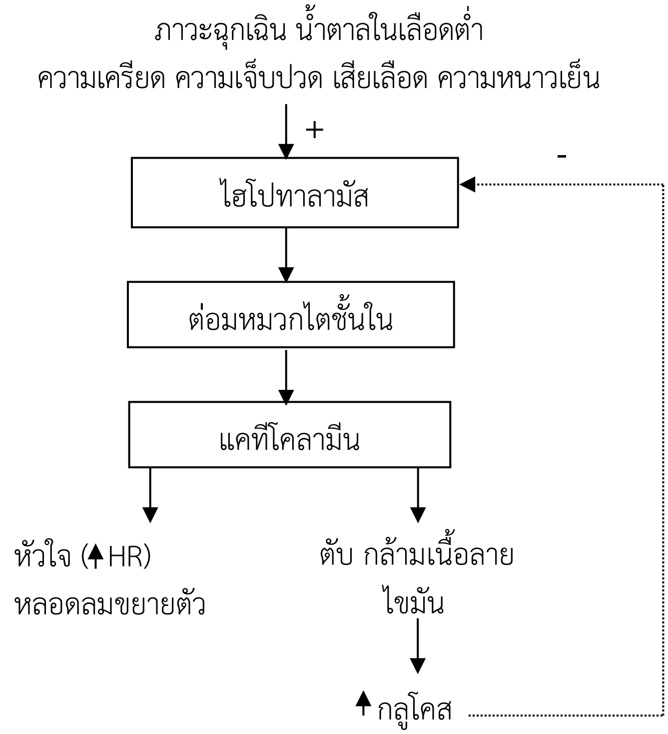
1. ผลต่อระบบไหลเวียนโลหิต ในภาวะฉุกเฉินจะมีการปรับให้เลือดไปเลี้ยงอวัยวะที่ต้องเตรียม พร้อม เช่น สมองและกล้ามเนื้อ หัวใจจะเต้นเร็วแรง หลอดเลือดแดงเล็กตีบตัว ทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้น มีการกระตุ้นการดูดกลับน้ำและโซเดียม เลือดส่วนใหญ่จะอยู่ในระบบไหลเวียนส่วนกลาง เพื่อเลี้ยงอวัยวะที่สำคัญที่สุด เพิ่มความเร็วและความแรงของการหายใจโดยมีผลโดยตรงที่ศูนย์ควบคุมการหายใจ ทำให้กล้าม เนื้อเรียบที่หลอดขยายตัว ผลทำให้หลอดลมขยายตัว นอกจากนี้ยังทำให้รูม่านตาขยายโต สมองตื่นตัว

2. เพิ่มเมทาบอลิซึม โดยเร่งการสลายไกลโคเจน (glycogenolysis) เร่งการใช้กลูโคสให้เป็นพลังงาน และสามารถเพิ่มการใช้ออกซิเจนได้ถึง 30% เร่งการสลายเนื้อเยื่อไขมันได้กรดไขมันมากขึ้น กระตุ้นตับให้เปลี่ยนกรดอะมิโนเป็นกลูโคส และเพิ่มอัตราการเผาผลาญของร่างกายได้ความร้อนสูงขึ้น

3. เมทาบอลิซึมของอิเล็กโตรลัยท์ โดยการดูดกลับโซเดียมและน้ำโดยกระตุ้นเรนินแองกิโอเทนซิน ทำให้มีการหลั่ง aldosterone และกระตุ้นการหลั่ง vasopressin ทำให้ดูดน้ำกลับเพิ่มขึ้น

### การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนแคทีโคลามีน

การหลั่งฮอร์โมนนี้เกิดจากการกระตุ้นของกระแสประสาทซิมพาเทติกจากไฮโพทาลามัส หรือประสาทอัตโนมัติและคอร์ติโคโทรปิน รีลิสซิงฮอร์โมน (corticotrophin releasing hormone: CRH) มีผลทำให้เซลล์โครมาฟฟิน (chromaffin cell) หลั่งแคททีโคลามีนออกมา ซึ่งจะไปกระตุ้นการสร้างกลูโคสทำให้น้ำตาลในกระแสเลือดสูงขึ้น และระดับน้ำตาลที่สูงขึ้นนี้จะไปยับยั้งไฮโพทาลามัสลดการหลั่งแคททีโคลามีน




รูปที่ 16-29 แสดงการควบคุมการหลั่งแคทีโคลามีน

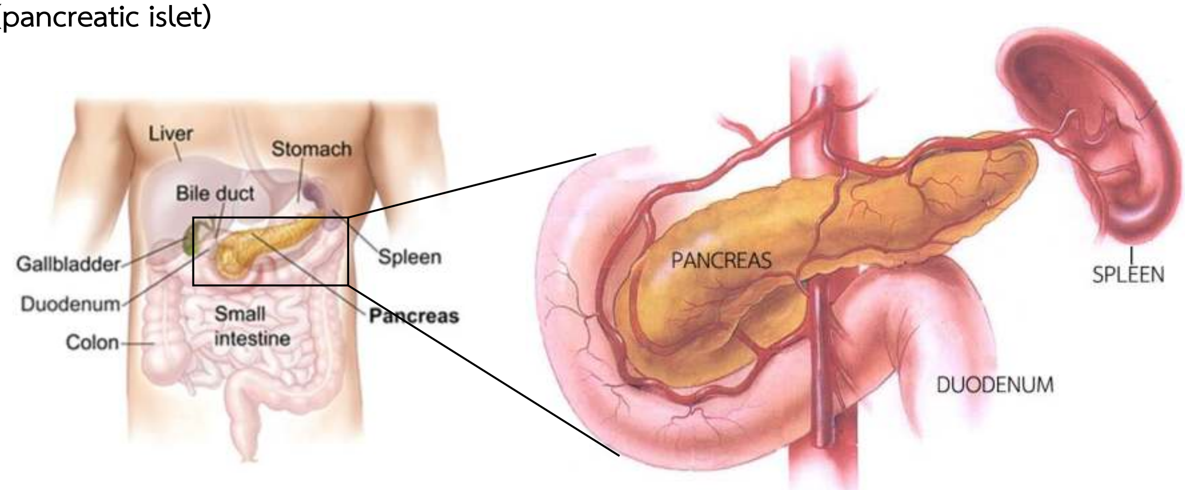
**ความผิดปกติ**

ไม่พบความผิดปกติใด ๆ ถ้าต่อมหมวกไตชั้นในหลั่งฮอร์โมนน้อย แต่ถ้ามีการหลั่งฮอร์โมนมาก จะทำให้เกิดโรคเรียกว่า **Pheochromocytoma** ซึ่งเกิดจากเนื้องอกของต่อมหมวกไตชั้นใน พบได้น้อยประมาณ 0.05-0.1% ของผู้ป่วยที่มีความดันโลหิตสูง ผู้ป่วยจะมีอาการปวดหัว ใจสั่น หัวใจเต้นเร็วแรง หลอดเลือดตีบตัว เกิดความดันเลือดสูง ลักษณะสำคัญคือ เป็นแบบไม่คงที่และสูงเป็นครั้งคราว แต่ละครั้งเกิดเฉียบพลันและอาการก็หายไปทันทีเช่นกันในช่วงไม่กี่นาที นอกจากนี้ยังพบอาการอ่อนเพลีย เหงื่อออก แน่นหน้าอก คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง มือสั่น ตาพร่ามัว ม่านตาขยาย พบสารที่เป็นเมตาบอไลท์ของอีพิเนฟริน และนอร์อีพิเนฟริน ได้แก่ Vanillyl mandelic acid (VMA) ในปัสสาวะ

***********************************

## ตอนที่ 7
## ตับอ่อน (Pancreas)

ตับอ่อนเป็นอวัยวะที่เป็นทั้งต่อมมีท่อและต่อมไร้ท่อในอวัยวะเดียวกัน ในส่วนที่เป็นต่อมมีท่อสร้างน้ำย่อยในระบบย่อยอาหาร ส่วนที่เป็นต่อมไร้ท่อหลั่ง (endocrine pancreas) ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ เรียกว่า **Islet of Langerhans (pancreatic islet)**




รูปที่ 16-30 กายวิภาคศาสตร์ของตับอ่อน

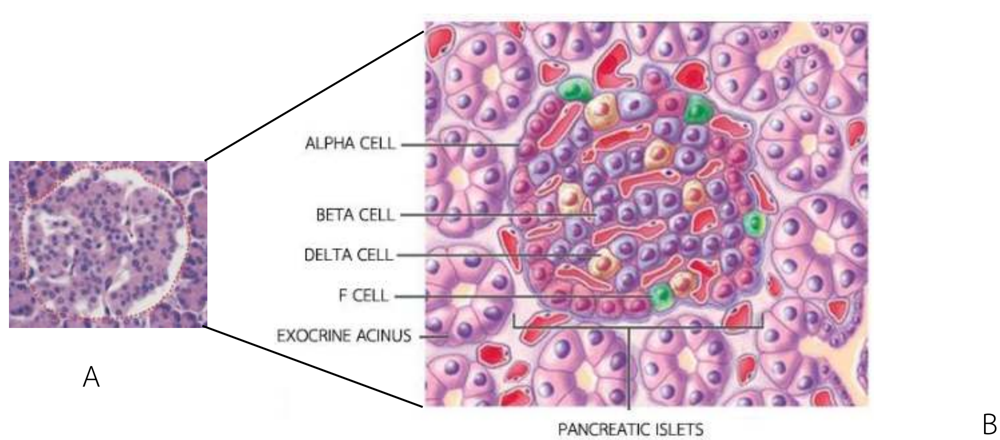
กลุ่มเซลล์ islet of Langerhans ตั้งชื่อตาม Paul Langerhan แพทย์ชาวเยอรมัน ผู้ค้นพบกลุ่มเซลล์ชนิดนี้เมื่อปี ค.ศ.1869 พบที่ส่วนหางของตับอ่อน และพบเซลล์สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่

**1. Alpha cells** พบประมาณ 20% หลั่งฮอร์โมน glucagon ทำหน้าที่เพิ่มกลูโคสในเลือด โดยไปกระตุ้นตับเปลี่ยนไกลโคเจนเป็นกลูโคส

**2. Beta cells** พบประมาณ 70% หลั่งฮอร์โมน insulin ทำหน้าที่ลดกลูโคสในเลือด โดยนำกลูโคสเข้าเซลล์

**3. Delta cells** หลั่งฮอร์โมน somatostatin ยับยั้งการหลั่ง insulin และ glucagon ไม่ให้มากเกินไป

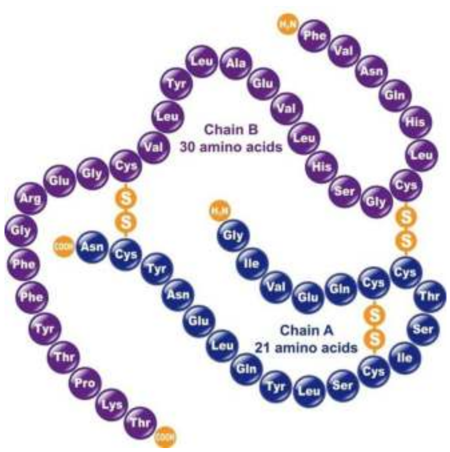
**4. F cells** หลั่งฮอร์โมน pancreatic polypeptide ควบคุมการหลั่งน้ำย่อยอาหารของตับอ่อน




รูปที่ 16-31 แสดงกายวิภาคของ islet of Langerhans จากกล้องจุลทรรศน์ (A) และภาพวาดเซลล์ในตับอ่อน (B)

## ฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin)

ฮอร์โมนอินซูลินเป็นฮอร์โมนประเภทเปปไทด์ สร้างมาจากเบตาเซลล์ของไอเลตส์ออฟแลงเกอร์ฮานส์ (Islets of Langerhans) โมเลกุลแรกที่สังเคราะห์มาจะมีขนาดใหญ่เรียกว่า โพรอินซูลิน (proinsulin) ประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งหมด 51 หน่วย แบ่งเป็นสาย เอ (A chain) ประกอบด้วยกรดอะมิโน 21 หน่วย สายบี (B chain) ประกอบด้วยกรดอะมิโน 30 หน่วย ทั้ง 2 สายเชื่อมด้วยเปปไทด์เชื่อม (connecting peptide หรือ C peptide) หลังจากนั้นจะมีการตัดโมเลกุลบางส่วนของส่วนนำออก เหลือเป็นอินซูลิน (insulin) และม้วนตัวเชื่อมด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) 3 ที่ ซึ่งเป็นรูปที่ยังไม่ทำงาน เมื่อร่างกายต้องการใช้จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ ทริปซิน (trypsin) เพื่อตัดเอาเปปไทด์เชื่อม (connecting peptide) ออกได้เป็นอินซูลิน




รูปที่ 16-32 แสดง
โครงสร้างของอินสุลิน

**ระดับน้ำตาลในเลือด**

โดยปกติระดับน้ำตาลในเลือดมีค่าค่อนข้างคงที่ คือประมาณ 80-100 มก.% โดยที่สารอาหารที่ร่างกายได้รับไม่จำเป็นที่จะต้องมีคาร์โบไฮเดรทเท่ากันเสมอ เพราะสารอาหารต่างๆ สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้เสมอ ถ้าระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดต่ำกว่า 60 มก.% (Hypoglycemia) ทำให้ประสาทส่วนกลางได้รับกลูโคสไม่เพียงพอ ทำให้มีอาการวิงเวียน มึนงง หน้ามืด ชัก หมดสติ และตายได้ แต่ถ้ากลูโคสในเลือดสูงกว่าปกติ (Hyperglycemia) คือสูงกว่า 300-400 มก.% จะทำให้ในปัสสาวะมีน้ำตาลมาก ต่อมาเกิดภาวะขาดน้ำ กระหายน้ำบ่อย ความเป็นกรดในเลือดสูงขึ้น หายใจหอบ ความดันโลหิตต่ำลง ไตไม่ทำงานและถึงแก่ความตายในที่สุด

**หน้าที่ของอินสุลิน**

อินซูลิน มีผลต่อเซลล์เกือบทุกชนิดในร่างกาย เป้าหมายหลัก คือ ตับ กล้ามเนื้อลาย และเนื้อเยื่อไขมัน ดังนี้

**1. ผลต่อเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรท** เร่งการส่งผ่านกลูโคสเข้าเซลล์ต่างๆ ที่ตอบสนองต่ออินซูลิน เช่น เซลล์กล้ามเนื้อลาย เนื้อเยื่อไขมัน

**2. ช่วยกระตุ้นการสร้างไกลโคเจน** (Glycogenesis) เก็บสะสมไว้ในตับและกล้ามเนื้อ โดยการกระตุ้นผ่านเอ็นไซม์ glycogen synthetase

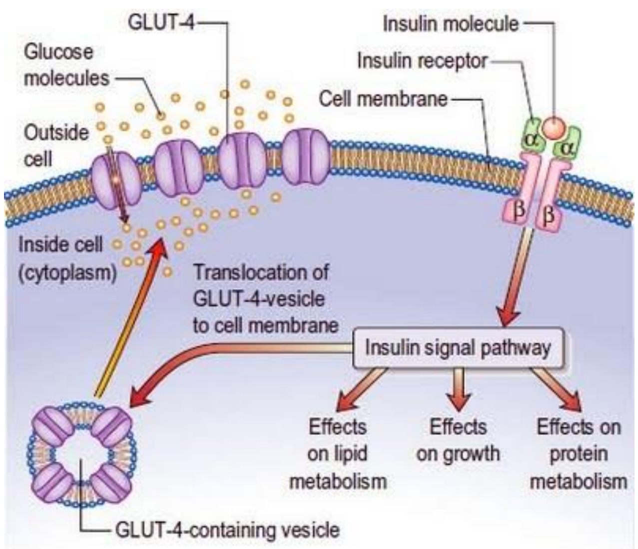
**3. ผลต่อเมทาบอลิซึมของโปรตีน** ส่งเสริมการขนถ่ายกรดอะมิโนเข้าเซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ตับ ทำให้มีการสังเคราะห์โปรตีนมากขึ้น (proteogenesis) และยับยั้งการสลายตัวของกรดอะมิโนเป็นน้ำตาลกลูโคส

**4. ผลต่อเมทาบอลิซึมของไขมัน** กระตุ้นให้มีการขนถ่ายกลูโคสเข้าเซลล์เพื่อสร้างเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล ซึ่งรวมเป็น ไทรกลีเซอรายด์เก็บไว้ในเซลล์ไขมัน

**5. กระตุ้นการเก็บโปตัสเซี่ยมเข้าเซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ไขมัน**

**กลไกการออกฤทธิ์ของอินซูลิน**

อินซูลินจะจับกับตัวสัญญาณที่เยื่อเซลล์ ซึ่งตัวรับสัญญาณเป็นโปรตีน ประกอบด้วยหน่วยแอลฟ่า และ เบต้า อย่างละ 2 หน่วย โดยหน่วยแอลฟ่าจะยื่นออกไปนอกเซลล์และเชื่อมกับหน่วยเบต้าด้วยพันธะ sulfide bond เมื่ออินซูลินจับกับหน่วยแอลฟ่า ทำให้หน่วยเบต้าจับกับฟอสเฟต มีผลกระตุ้นไทโรซีนไคเนส (Tyrosine kinase) ที่ติดกับหน่วยเบต้า ทำให้มีผลเติมฟอสเฟตให้กับสารเร่งปฏิกิริยาหลายอย่างภายในเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ซึ่งเป็นการตอบสนองของเซลล์




รูปที่ 16-33 แสดงตัวรับอินซูลิน (Insulin receptor)

นอกจากนี้การเติมฟอสเฟตของตัวรับสัญญาณทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับ G-protein เพื่อไปกระตุ้นฟอสโฟไลเปสซี (Phospholipase C) สร้างตัวสื่อสัญญาณที่ 2 เช่น $IP_3$ และ DG และการเติมฟอสเฟตของตัวรับสัญญาณยังกระตุ้นตัวขนส่งกลูโคสด้วย กลูโคสจะขนส่งเข้าเซลล์โดยตัวขนส่งกลูโคส (Glucose transporter, Glu T) ซึ่งมี 5 ชนิด คือ Glu $T_1$ - Glu $T_5$ ซึ่งพบในเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย โดนขนส่งกลูโคสตามความลาดชันของกลูโคส

**การควบคุมการหลั่งอินซูลิน**

กลูโคสเป็นตัวกระตุ้นการหลั่งอินซูลินที่แรงที่สุด ปกติกลูโคสในเลือดมีค่าประมาณ 80-110 มก.% ถ้าระดับกลูโคสในเลือดมีค่าสูงกว่านี้ จะกระตุ้นให้มีการหลั่งอินซูลินเพื่อเอากลูโคสไปใช้ที่เนื้อเยื่อต่างๆ จนระดับน้ำตาลในเลือดลดลง ตัวแปรอื่นที่มีผลกระตุ้น เช่น ฮอร์โมน secretin, gastrin, Cholecystokinin จากลำไส้ ยาพวก Sulfonylurea เป็นต้น

ในทางตรงข้ามถ้าระดับกลูโคสในเลือดลดลงต่ำกว่าระดับปกติ จะยับยั้งการหลั่งอินซูลิน แต่จะมีการกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนกลูคากอน นอกจากนี้ ภาวะเครียด สารเคมี alloxan, Acetylcholine, Epinephrine, Norepinephrine ก็มีผลยับยั้งการหลั่งอินซูลิน

อินซูลินถูกทำลายที่ตับประมาณ 80% ดังนั้นในผู้ป่วยที่ผิดปกติ เช่น โรคตับแข็ง อินซูลินจะไม่ถูกทำลาย ทำให้ผู้ป่วยมีกลูโคสในเลือดต่ำ

**ความผิดปกติ**

**1. ภาวะพร่องอินสุลิน**

**โรคเบาหวาน (Diabetes mellitus, DM)** เป็นโรคที่เกิดจาดการการขาดอินซูลิน เนื่องจากตับอ่อนไม่สามารถสร้างอินซูลินหรือสร้างได้ไม่พอเพียงกับความต้องการของร่างกาย ร่างการต้องการตับอ่อนมากกว่าปกติ การตัดตับอ่อน เซลล์ตับอ่อนถูกทำลายโดยสารเคมี หรือเนื้อเยื่อไม่ตอบสนองต่อตับอ่อน เป็นต้น จึงพบน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ (Hyperglycemia) กลูโคสที่กรองผ่านไตมีปริมาณสูง ทำให้พบน้ำตาลในปัสสาวะ (Glucosuria) เมื่อมีกลูโคสในปัสสาวะมากเกินไป ทำให้มีปัสสาวะบ่อย (Polyuria) จากการเกิด osmotic diuresis ทำให้ผู้ป่วยสูญเสียทั้งน้ำ โซเดียม โปตัสเซี่ยม ผู้ป่วยจะหิวน้ำมากจากการขาดน้ำ ทำให้ผู้ป่วยดื่มน้ำมาก (Polydipsia) เพื่อทดแทน ร่างกายเสียพลังงานงานมาก ผู้ป่วยจะหิวบ่อย ทำให้กินจุ (Polyphagia) ในเลือดมีระดับกลูโคสมากขึ้น แต่ขนส่งเข้าเซลล์ไม่ได้

การขาดอินซูลินทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะของการสลายสารอาหาร เช่น ไกลโคเจนถูกสลายเป็นกลูโคส โปรตีนจะสลายจากกล้ามเนื้อได้กรดอะมิโน ทำให้น้ำหนักลด กล้ามเนื้อไม่มีแรง และร่างกายก็ไม่สามารถจะนำสารต่างๆ เหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ ผู้ป่วยเหมือนมีภาวะขาดสารอาหาร ไขมันถูกสลายได้กรดไขมันและกลีเซอรอล การสันดาปไขมันในตับได้สาร Ketone ออกมาในเลือด (Ketonemia) ซึ่งทำให้เกิดภาวะเลือดเป็นกรด (Ketoacidosis) ร่วมกับภาวะขาดนี้จะกดการทำงานของสมอง หมดความรู้สึก และเสียชีวิตได้

เนื่องจากเบาหวานทำให้เกิดความผิดปกติของเมทาบอลิซึมของสารอาหาร ซึ่งจะนำไปสู่ภาวะ แทรกซ้อนที่อวัยวะต่างๆ เช่น เส้นเลือดฝอยจะหนาแต่เปราะ ผู้ป่วยเป็นต้อหินหลอดเลือดฝอยในไตหนาตัวซึ่งมีผลต่อการทำงานของไตและการกรอง (Nephropathy) มีการสูญเสียโปรตีนในปัสสาวะ (Proteinuria) ระดับโปรตีนในเลือดจะลดต่ำลง ความดันโลหิตสูงขึ้น บวมน้ำและไตวายในที่สุด การทำงานของประสาทผิดปกติ (Neuropathy) รู้สึกเจ็บๆ คันๆ ที่ปลายนิ้วมือและเท้า มีไขมันไปอุดกั้นหลอดเลือด ทำให้เลือดไปเลี้ยงขาไม่เพียงพอ ทำให้เกิดเนื้อเยื่อตาย

ชนิดของเบาหวาน แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

**1. Type I diabetes (Insulin-dependent diabetes mellitus (IDDM)** เป็นเบาหวานที่เกิดจากการขาดอินซูลินแต่กำเหนิด ส่วนใหญ่เกิดจากการที่เบตาเซลล์ถูกไวรัส หรือถูกภูมิคุ้มกันของตนเอง (autoimmune disease) ทำลาย ทำให้สร้างอินซูลินไม่ได้ และส่วนหนึ่งเกิดจากกรรมพันธุ์ มักพบว่าเป็นเบาหวานตั้งแต่เด็ก (juvenile onset) การรักษาโดยการต้องฉีดฮอร์โมนอินซูลินให้ทดแทน

**2. Type II diabetes (Non insulin-dependent diabetes mellitus (NIDDM)** เบาหวานชนิดที่รักษาไม่ได้ด้วยอินซูลิน สาเหตุของการเกิดยังไม่ทราบแน่นอน อาจเกิดจากการอินซูลินออกฤทธิ์ที่อวัยวะเป้าหมายไม่ได้หรือมีการหลั่งอินซูลินลดน้อยลง มักค่อยๆ เกิด พบในผู้ที่มีอายุมากขึ้นแล้ว คนอ้วน ปัจจัยเสี่ยงได้แก่ กรรมพันธุ์ การรักษา โดยการใช้ยา ควบคุมอาหาร การออกกำลังกาย และการอินสุลิน เพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนรุนแรงที่อาจเกิดขึ้น

**2. ภาวะอินซูลินมากเกิน (Hyperinsulinism)**

เป็นภาวะที่อินซูลินมากเกินไป สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการฉีดยาอินซูลินเกินขนาด ส่วนน้อยเนื่องจากมีเนื้องอกของ islet of Langerhans เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ ทำให้มีอาการกระวนกระวาย เหงื่อออก ใจสั่น ชีพจรเต้นเร็ว หิวบ่อย นอกจากนี้ยังมีอาการทางสมอง เช่น หมดสติ และ ช็อค ผู้ป่วยอาจเสียชีวิตได้ถ้าไม่ได้รับกลูโคสอย่างทันท่วงที

## ฮอร์โมนกลูคากอน (Glucagon)

Glucagon เป็นฮอร์โมนที่สร้างจาก A cell ของตับอ่อน เป็นฮอร์โมนที่ช่วยในการทำลายสารชีวโมเลกุลสลายกลูโคส กรดไขมันและโปรตีนทำให้เพิ่มระดับน้ำตาลในกระแสเลือด มีผลการทำงานตรงกันข้ามกับฮอร์โมนอินซูลินจึงเรียก Glucagon ว่าเป็นฮอร์โมนแห่งการอดอาหาร (Hormone of fasting)

**หน้าที่ของ Glucagon**

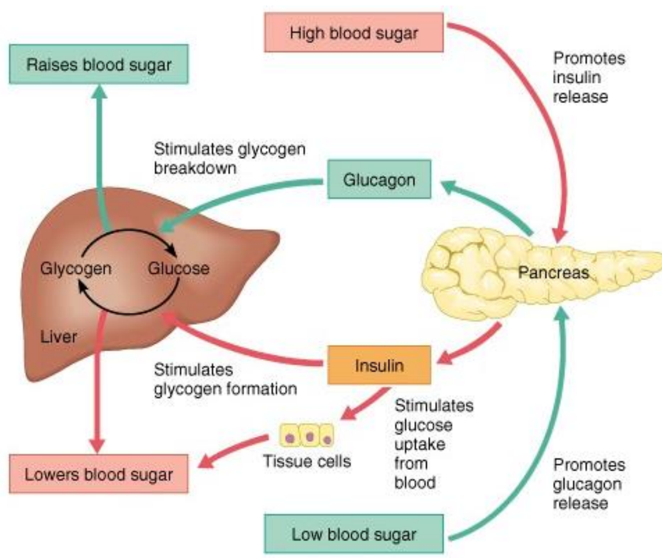
**1. ฤทธิ์ต่อเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต** กระตุ้นการสลายของไกลโคเจน (glycogenolysis) ในตับ เปลี่ยนไกลโคเจนเป็นกลูโคส และยับยั้งการเปลี่ยนกลูโคสที่ตับเป็นไกลโคเจนลดน้อยลง

**2. ฤทธิ์ต่อเมแทบอลิซึมของโปรตีน** กระตุ้นการสลายโปรตีน (proteolysis) เปลี่ยนกรดอะมิโนให้เป็นกลูโคส โดยกระตุ้นการนำส่งกรดอะมิโนมาใช้ที่ตับในขบวนการสร้างกลูโคส (gluconeogenesis)

**3. ฤทธิ์ต่อเมแทบอลิซึมของไขมัน** กระตุ้นการสลายไขมัน (lipolysis) ในตับและที่เนื้อเยื่อไขมัน ส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ไลเปส (lipase) ทำให้ได้กรดไขมันอิสระออกมา และกระตุ้นการนำส่ง กรดไขมันเข้าสู่ตับและกล้ามเนื้อ และยังช่วยการเผาผลาญกรดไขมัน

**การควบคุมการหลั่ง Glucagon**

การหลั่งกลูคากอนถูกควบคุมโดยตรงด้วยระดับน้ำตาลในกระแสเลือด เมื่อระดับน้ำตาลต่ำกว่าปกติ จะกระตุ้นแอลฟา เซลล์ให้หลั่งกลูคากอนจนระดับน้ำตาลสูงเท่าปกติ การกระตุ้นแอลฟาเซลล์จึงหยุดลง




รูปที่ 16-34 แสดงกลไกการควบคุมการหลั่งอินสุลินและกลูคากอน

กลูคากอนจะหลั่งเพิ่มขึ้นเมื่อมีการกระตุ้นประสาทซิมพาเทติกที่มายังไอเลตส์ออฟแลงเกอร์ฮานส์ ความเครียดจะกระตุ้นการหลั่งกลูคากอนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การหลั่งกลูคากอนถูกยับยั้งโดยโซมาโทสแททิน

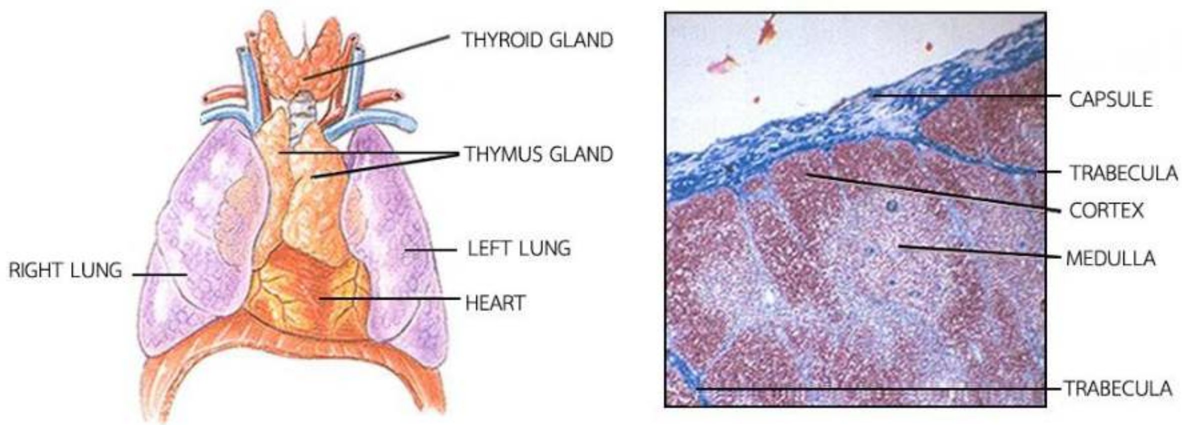
อินซูลินกดการหลั่งกลูคากอน จึงมักพบกลูคากอนเพิ่มสูงในผู้ป่วยที่ขาดอินซูลิน ทำให้อาการของเบาหวานรุนแรงมากขึ้น

**ความผิดปกติ**

ไม่ค่อยมีรายงานความผิดปกติของโรคอันเนื่องมาจากการขาดกลูคากอน ในกรณีของฮอร์โมนเกินทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูง อาจเป็นสาเหตุหนึ่งของผู้ป่วยโรคเบาหวาน

## ตอนที่ 8
## ต่อมไทมัส (Thymus gland)

ต่อมไทมัสประกอบด้วย 2 กลีบ (lobe) อยู่ที่ส่วนบนของเนื้อกลางอก ขนาดของต่อมแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล ต่อมจะมีขนาดใหญ่ในทารกแรกเกิด และโตมากที่สุดในช่วงวัยหนุ่มสาว หลังจากนั้นจะเริ่มเสื่อมสภาพ เป็นพังผืดและเนื้อเยื่อไขมัน มีขนาดเล็กลง แต่ก็ยังทำงานต่อไปได้ ต่อมไทมัสเป็นที่สร้างฮอร์โมน **thymosin**




รูปที่ 16-35 แสดงกายวิภาคของต่อมไทมัส

**หน้าที่**

ไทโมซินทำหน้าที่กระตุ้นการแบ่งเซลล์เม็ดเลือดขาวประเภทลิมโฟไซท์ (lymphocyte หรือ T cell) ที่ยังอ่อนอยู่ (immature lymphocyte) แล้วปรับสภาพไปเป็นลิมโฟไซท์ที่เจริญเต็มที่ (mature lymphocyte)

ลิมโฟไซท์ที่เจริญเต็มที่แล้วจะออกจากต่อมไทมัสไปอยู่บริเวณม้ามและ ต่อมน้ำเหลืองทั่วร่างกาย ทำหน้าที่สร้างภูมิคุ้มกันโรคเนื่องจากการกระทำของเซลล์ (cellular immunity) คือทำหน้าที่เกี่ยวกับปฏิกริยาภูมิแพ้ และการไม่ยอมรับเนื้อเยื่อแปลกปลอมที่ปลูกถ่ายกับร่างกาย ป้องกันการติดเชื้อจากเชื้อโรคต่างๆ เช่น เชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา

ต่อมไทมัสจะไวต่อการติดเชื้อ รังสี การเจ็บป่วยมาก พบว่าถ้ามีการติดเชื้อนานๆ เมื่อหายแล้วต่อมไทมัสจะมีขนาดเล็กลงเล็กน้อย

**ความผิดปกติ**

การฝ่อของต่อมตั้งแต่แรกเกิด จะเกิดกลุ่มอาการ เรียกว่า congenital thymic aplasia (DiGeorge syndrome) ร่างกายจะขาด thymosin และ T-Lymphocyte ทำให้เด็กเสียชีวิตจากการติดเชื้อ

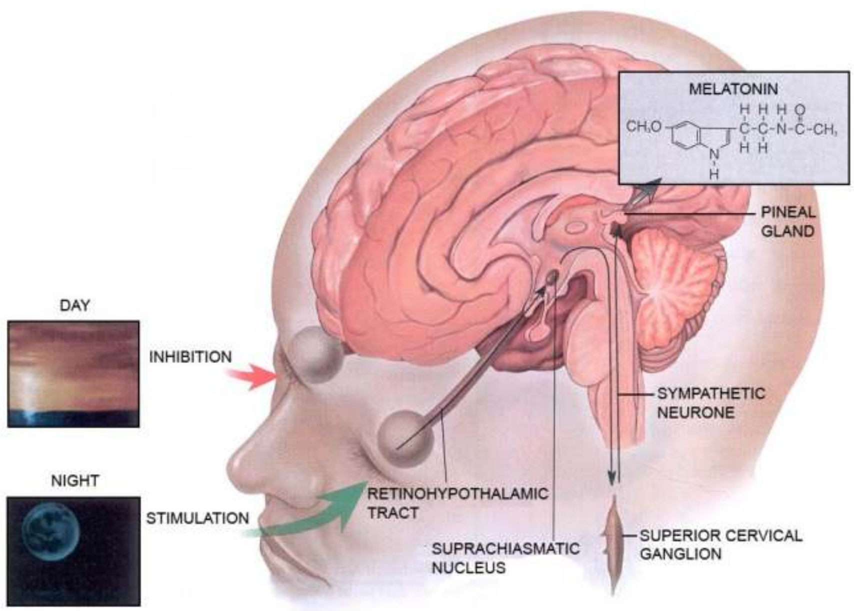
***********************************

## ตอนที่ 9
## ต่อมไพนีล (Pineal gland)

ต่อมไพนีลมีขนาดเล็ก รูปร่างคล้ายรูปกรวย น้ำหนักประมาณ 0.2 กรัม ติดอยู่กับส่วนหลังคาของช่องสมองที่สาม ต่อมมีแคปซูลหุ้ม ซึ่งเป็นพังผืดที่ต่อเนื่องมาจากเยื่อหุ้มสมองชั้นใน ต่อมไพนีลจะเริ่มมีขนาดเล็กลงเมื่ออายุได้ 7 ขวบ ในผู้ใหญ่จะเห็นเป็นพังผืดหนาๆ เท่านั้น เนื้อต่อมประกอบไปด้วยเซลล์สำคัญ 2 ชนิด คือ

**1. Neuroglial cells** เป็นเซลล์ค้ำจุนประสาท เซลล์มีขนาดเล็ก พบประมาณร้อยละ 5

**2. Pinealocytes** เซลล์มีนิวเคลียสใหญ่ เรียงตัวเป็นกลุ่มรอบหลอดเลือดฝอย เซลล์ทำหน้าที่ในการหลั่งฮอร์โมน เรียกว่า **melatonin**




รูปที่ 16-36 แสดงกายวิภาคของต่อมไพนีล

**หน้าที่ของ melatonin**

**1. การพัฒนาระบบอวัยวะสืบพันธุ์** มีบางคนเชื่อว่าเมลาโทนินมีผลต่อการสร้างโกนาโดโทรปินรีลิสซิ่งฮอร์โมน (GnRH) แม้ว่ายังไม่มีข้อสรุปชัดเจนเกี่ยวข้องกับขบวนการหลั่งของเมลาโทนิน แต่มีความเชื่อว่าน่าจะระงับการหลั่ง โกนาโดโทปิน รีลิสซิ่งฮอร์โมนจากไฮโพทาลามัส และควบคุมการทำงานของอวัยวะสืบพันธุ์ โดยจะมีการยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนเพศ เช่น ในช่วงที่มีฤดูหนาวที่มีกลางคืนยาวนาน ผู้หญิงชาวเอสกิโมจะไม่มีประจำเดือน และถ้ามีฮอร์โมนนี้มากจะทำให้เป็นหนุ่มสาวช้ากว่าที่ควร ในผู้ชายจะมีอัณฑะขนาดเล็กลงได้

**2. ส่งเสริมการนอนหลับและกิจกรรมต่างๆ** ใช้ในการรักษาผู้ที่มีปัญหาการนอนไม่หลับ (sleep disorder) เช่น ผู้ทำงานเป็นเวร หรือผู้สูงอายุที่นอนไม่หลับ (elderly insomnia) แก้ไขการหลงเวลาจากการเดินทางโดยเครื่องบิน (jet lag) เมื่อไปในประเทศที่เวลาไม่เหมือนกัน เช่น เมื่อเดินทางจากประเทศไทยไปประเทศสหรัฐอเมริกาที่เวลาห่างกันประมาณ 12

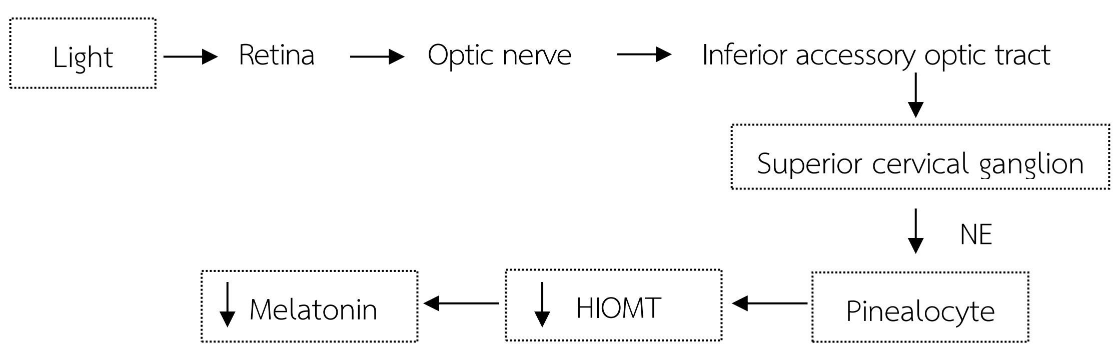
ชั่วโมง จะทำให้เวลากลางวันและกลางคืนกลับกัน ซึ่งจะทำให้นอนไม่หลับ อ่อนเพลีย ปวดศีรษะได้ ถ้าได้รับฮอร์โมนเมลาโทนินจะทำให้ปัญหาเหล่านี้หายไปหรือน้อยลง

**3. การรักษาโรคที่เกี่ยวกับอารมณ์** มีงานวิจัยหาความสัมพันธ์ระหว่างเมลาโทนินและภาวะซึมเศร้า พบว่าในประเทศที่มีฤดูหนาวที่ยาวนาน อากาศสลัวๆ ซึ่งเมลาโทนินหลั่งมากขึ้นจะมีผู้ที่มีอาการซึมเศร้ามากกว่า และเป็นเหตุผลอธิบายว่าทำไมเราจึงรู้สึกสดชื่นในวันที่ท้องฟ้าสดใส มากกว่าในช่วงที่มีอากาศสลัวๆ ของช่วงฤดูหนาว

**4. ชะลอการชราภาพ** มีบางรายงานกล่าวถึงเมลาโทนินซึ่งตัวต้านออกซิเดชัน (antioxidation) ซึ่งเป็นสารที่ป้อง กันไม่ให้เซลล์ในร่างกายถูกทำลายจากสารที่เป็นอนุมูลอิสระ (free radicals) ซึ่งมักจะไปทำปฏิกิริยาเป็นลูกโซ่และทำลายเซลล์อื่นได้มาก ทำให้เกิดโรคเรื้อรังเช่นมะเร็ง หลอดเลือดหัวใจขาดเลือด ซึ่งถ้ามีอนุมูลอิสระที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมมาก จะทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อต่างๆ ต่อเยื่อบุผิวเซลล์หรืออาจเข้าไปในนิวเคลียส ทำให้เซลล์ไม่สามารถแบ่งตัว หรือซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ทำให้เกิดการชราภาพของเซลล์ เมลาโทนินจะไปจับหรือกำจัดอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ดีและปกป้องเซลล์จากการทำลายของไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ได้ด้วย ทำให้ชะลอการชราภาพได้และมีรายงานว่าสามารถนำมาใช้ฟื้นฟูเซลล์ต่างๆ ได้ดี

**การควบคุมการหลั่งฮอร์โมน**

การหลั่งฮอร์โมนขึ้นอยู่กับปริมาณแสงสว่างตามช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน โดยที่ฮอร์โมนจะถูกสร้างในความมืดและแสงสว่างจะมีผลยับยั้ง เนื่องจากต่อมไพนีลไม่สามารถรับรู้แสงสว่างได้โดยตรง เมื่อแสงสว่างผ่านรูม่านตามากระทบเรตินา จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณประสาท โดยผ่าน suprachiasmatic nucleus ในไฮโปทาลามัส และ superior cervical ganglion ก่อนเข้าสู่ต่อมไพนีล ที่ปลายประสาทของ superior cervical ganglion จะมีการหลั่ง norepinephrine (NE) ซึ่งมีผลไปยับยั้งการทำงานเอ็นไซม์ hydroxyindole-O-methyl transferase (HIOMT) ทำให้เมลาโตนินถูกสร้างลดลง




รูปที่ 16-37 แสดงการควบคุมการสร้างเมลาโตนิน

**ความผิดปกติ**

ถ้ามีมากเกินไปจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตอวัยวะสืบพันธุ์ เนื่องจากพบว่าเมื่อเข้าสู่วัยหนุ่มสาวเมลาโทนินจะลดน้อยลง

************************************

## เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

# แผนการสอน

## วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์
## (Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)

---

**ชื่อบทเรียน** การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย
(Regulation of Body Temperature)

**จำนวนชั่วโมง** 2 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับอุณหภูมิปกติของร่างกาย การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย การปรับตัวระบบการควบคุมอุณหภูมิ ต่อความร้อน ความเย็น และพยาธิสภาพ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. รู้แหล่งผลิตความร้อนในร่างกาย
2. บอกความแตกต่างของ อุณหภูมิปกติแกนและอุณหภูมิผิว
3. บอกปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิแกน
4. สามารถอธิบายสมดุลความร้อนในร่างกาย
5. อธิบายองค์ประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ
6. อธิบายการปรับตัวต่อความร้อน
7. อธิบายการปรับตัวต่อความเย็น
8. อธิบาย สาเหตุ/ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดพยาธิสภาพของโรค

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 17

*************************************

# การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย

# (Regulation of Body Temperature)

**ตอนที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุณหภูมิปกติของร่างกาย**

1.1 แหล่งผลิตความร้อนในร่างกาย

1.2 อุณหภูมิปกติของร่างกาย

1.2.1 อุณหภูมิปกติแกน

1.2.2 อุณหภูมิปกติผิว

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิปกติแกน

1.4 สมดุลความร้อน

1.4.1 การสร้างความร้อน

1.4.2 การสูญเสียความร้อน

**ตอนที่ 2 การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย**

2.1 องค์ประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ

2.1.1 ตัวรับรู้อุณหภูมิ

2.1.2 ศูนย์ควบคุม

2.1.3 กลไกการทำงาน

2.2 กลไกการทำงานของไฮโปทาลามัส

**ตอนที่ 3 ระบบการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ในสภาวะการปรับตัว และในสภาวะที่เกิดพยาธิสภาพ**

3.1 ในสภาวะที่ปรับตัวต่อความร้อนและความเย็นที่ผิดปกติ

3.2.1 การปรับตัวต่อความร้อน

3.2.2 การปรับตัวต่อความเย็น

3.2 พยาธิสภาพ

# บทที่ 16
# การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย
# (Regulation of Body Temperature)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

## ตอนที่ 1
## ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุณหภูมิปกติของร่างกาย
## (Normal body temperature)

อุณหภูมิของร่างกายเป็นสิ่งที่จะต้องควบคุมให้มีค่าคงที่เสมอ เพราะกระบวนการทำงานทางสรีรวิทยาต่างๆ ในร่างกาย ล้วนเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี เอนไซม์ภายในเซลล์จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ($^0$ซ) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้ความเร็วของปฏิกิริยาทางเคมีเปลี่ยนแปลงๆ ไปอย่างมาก ในทางการแพทย์จะใช้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นตัวบอกถึงสภาวะการเจ็บป่วยของร่างกาย

ร่างกายมนุษย์สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 37$^0$ซ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากก็ตาม ความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาผลาญซึ่งเกิดภายในเซลล์ ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อมตลอดเวลา อีกส่วนหนึ่งเก็บไว้เพื่อทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิคงที่ โดยใช้กลไกการควบคุมซึ่งมีศูนย์กลางอยู่ที่สมองส่วนไฮโปทาลามัส

### 1.1 แหล่งผลิตความร้อนในร่างกาย

อุณหภูมิปกติของร่างกาย หมายถึง อุณหภูมิที่วัดได้ในคนปกติที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนใด ๆ ในขณะพัก ความร้อนในร่างกายส่วนใหญ่มาจากกระบวนการ metabolism ของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย โดยเฉพาะเซลล์ของอวัยวะภายในช่องอกและช่องท้อง ซึ่งจะมีอัตรา metabolism สูง เซลล์สมองและกล้ามเนื้อลายจะสร้างความร้อนไม่มากนัก ในขณะที่เซลล์ของผิวหนังจะสร้างความร้อนได้น้อยสุด

### 1.2 อุณหภูมิปกติของร่างกาย

อุณหภูมิของร่างกาย แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ อุณหภูมิแกน (core temperature) และอุณหภูมิผิว (surface temperature)

**1.2.1 อุณหภูมิแกน (core temperature)** หมายถึง อุณหภูมิที่อยู่ในส่วนลึกของร่างกาย ซึ่งเป็นที่อยู่ของอวัยวะสำคัญในร่างกาย ความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นตลอดเวลาจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหนัง เพื่อระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก จึงทำให้อุณหภูมิของร่างกายค่อนข้างคงที่ คือ จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆ ประมาณ $\pm$ 0.6 $^0$ซ การวัดอุณหภูมิของร่างกาย สามารถวัดได้ 3 ทาง คือ

1) ทางปาก (oral temperature) อุณหภูมิที่วัดได้ทางปากจะมีค่าประมาณ 37 $^0$ซ

2) ทางทวารหนัก (rectal temperature) อุณหภูมิมีค่าประมาณ 37.6 $^0$ซ

3) ทางรักแร้ (axillary temperature) อุณหภูมิที่วัดได้ทางรักแร้จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้ทางปากเล็กน้อย

โดยปกติอุณหภูมิแกน หมายถึง อุณหภูมิที่วัดจากทางทวารหนัก แต่ในคนทั่วไปนิยมวัดทางรักแร้ เพราะมีความสะดวก ในเด็กแรกคลอดและเด็กเล็ก ใช้วิธีวัดทางทวารหนัก ส่วนในคนที่ไม่รู้สึกตัวจะวัดทางรักแร้

**1.2.2 อุณหภูมิผิว (surface temperature)** หมายถึงอุณหภูมิที่บริเวณผิวหนังและไขมันใต้ผิวหนัง เนื้อเยื่อเหล่านี้เป็นแหล่งระบายความร้อนของร่างกาย และยังทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อน ผิวหนังช่วยควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าคงที่ โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณเลือดที่ไหลมายังผิวหนัง ในสภาวะที่อากาศร้อน หลอดเลือดที่ผิวหนังทั่วร่างกายจะขยายตัว ความร้อนจากแกนจึงถูกพามาถ่ายเทออกที่ผิวหนังได้มาก แต่ในสภาวะที่อากาศเย็น หลอดเลือดที่ผิวหนังและเนื้อเยื่อใต้ผิวหนังจะหดตัวทำให้ชั้นของเปลือกหนาตัวขึ้น เลือดที่มาหล่อเลี้ยงผิวหนังจะน้อยลง เพื่อรักษาอุณหภูมิแกนให้มีค่าคงที่ที่ 37 $^{0}$ซ

อุณหภูมิร่างกาย เป็นผลรวมของอุณหภูมิแกน (70%) และอุณหภูมิผิว (30%) โดยทั่วไปอุณหภูมิแกนจะเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ ในขณะที่อุณหภูมิผิวมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงกว้างๆ ทั้งนี้ ร่างกายใช้กลไกทางสรีรวิทยาและการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมต่างๆ เพื่อช่วยให้อุณหภูมิคงที่

### 1.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิแกน

อุณหภูมิปกติของแต่ละคนมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อายุ การออกกำลังกาย รอบประจำเดือน หรือโรคบางชนิด เป็นต้น ปกติอุณหภูมิทางปากจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่วัดได้ทางทวารหนัก ประมาณ 0.6 $^{0}$ซ อุณหภูมิปกติของเด็กจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติของผู้ใหญ่เล็กน้อย อุณหภูมิแกนของผู้สูงอายุมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ในตอนเช้าหรือเมื่ออากาศเย็นอุณหภูมิของร่างกายมีค่าต่ำกว่าปกติ แต่ในขณะที่ออกกำลังกายอย่างหนักอุณหภูมิของร่างกายจะสูงขึ้น 2-3 $^{0}$ซ เป็นความร้อนที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อลาย

อุณหภูมิแกนมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นรูปแบบในรอบ 24 ชม. เรียกว่า diurnal rhythm หรือ circadian rhythm กล่าวคือ อุณหภูมิแกนจะต่ำสุดในช่วงเช้ามืด และมีค่าสูงสุดในช่วงบ่าย สาเหตุเนื่องจากในเวลากลางวันอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าสูง และร่างกายมีการทำกิจวัตรประจำวัน

สำหรับสตรีในวัยเจริญพันธ์ อุณหภูมิแกนจะมีการเปลี่ยนแปลงตามรอบเดือน คือหลังจากตกไข่ อุณหภูมิแกนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประมาณ 0.5 $^{0}$ซ และอุณหภูมิจะอยู่ในระดับนี้จนถึงวันมีประจำเดือน อุณหภูมิจึงจะลดลงสู่ระดับปกติ ในกรณีหญิงตั้งครรภ์ อุณหภูมิจะคงอยู่ในระดับสูงตลอดไปภายหลังการตกไข่จนกระทั่งคลอด เชื่อว่าเป็นอิทธิพลของฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน (progesterone) ที่สร้างจากรังไข่

นอกจากนี้โรคบางชนิดทำให้อุณหภูมิแกนสูงกว่าปกติตลอดเวลา เช่น โรคไทรอยด์ทำงานเกิน (hyperthyroidism) มีการหลั่งฮอร์โมนไทรอกซินมากกว่าปกติ หรือในคนที่เป็นเนื้องอกของต่อมหมวกไตชั้นใน มีการหลั่งสารแคทีโคลามีนเข้าสู่ระบบไหลเวียน สารทั้ง 2 ชนิดนี้มีผลไปเพิ่ม metabolism ของเซลล์ทั่วร่างกาย ทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิสูงขึ้น

### 1.4 สมดุลความร้อน

การที่อุณหภูมิร่างกายมีค่าปกติ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับเข้ามาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก และทีผลิตขึ้นจาก metabolism ในร่างกาย จะต้องเท่ากับความร้อนที่ร่างกายสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม ถ้าปริมาณความร้อนที่ได้รับมีค่ามากกว่าปริมาณความร้อนที่สูญเสีย จะทำให้ร่างกายบุคคลนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ (hyperthermia) แต่ถ้าร่างกายมีการสูญเสียความร้อนมากกว่าความร้อนที่ได้รับอุณหภูมิของร่างกายจะต่ำกว่าปกติ (hypothermia) ร่างกายมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยการปรับเปลี่ยนกลไกกลไกในการสร้างและการระบายความร้อน เช่น เมื่ออุณหภูมิแกนของร่างกายลดลง ร่างกายจะพยายามลดการสูญเสียความร้อน โดยทำให้หลอดเลือดที่ผิวหนังหดตัว และกระตุ้นกลไกในการสร้างความร้อน เป็นต้น กลไกการสร้างและการระบายความร้อนที่ร่างกายใช้เพื่อควบคุมอุณหภูมิแกนให้มีค่าคงที่ มีดังนี้

**1.4.1 การสร้างความร้อน (Thermogenesis)**

**1.4.1.1 อัตรา metabolism ของร่างกาย (Basal metabolic rate, BMR)** หมายถึง ความร้อนที่เกิดขึ้นในระยะพัก ได้มาจากการเผาผลาญสารอาหาร ภายในเซลล์เพื่อนำพลังงานในรูปของ ATP ไปใช้ในการทำงานที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของเซลล์ เช่น การขนย้ายอิออนที่ผนังเซลล์ ค่า BMR ของคนปกติ มีค่าประมาณ 70-80 กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง ในขณะออกกำลังกาย ค่า BMR จะสูงขึ้น เนื่องมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อลาย

**1.4.1.2 การเพิ่มความร้อนหลังการรับประทานอาหาร (Specific dynamic action)** เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการย่อย การดูดซึม และเก็บสะสมอาหาร พบว่าอาหารประเภทโปรตีนจะเพิ่มความร้อนได้มากกว่าอาหารคาร์โบไฮเดรท และไขมัน

**1.4.1.3 การสั่นของกล้ามเนื้อลาย (Shivering)** เป็นกลไกการผลิตความร้อน เมื่อร่างกายเผชิญกับความเย็นจัด เมื่อสัมผัสกับความเย็น ตัวรับรู้ความเย็นที่ผิวหนังและที่ไขสันหลัง จะส่งข้อมูลเข้าสู่ shivering center ซึ่งอยู่ในไฮโปทาลามัส จากนั้น shivering center จะส่งสัญญาณกลับมาที่ไขสันหลัง เพิ่มการทำงานของ motor neuron ที่มาควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลาย เพิ่มความตึงตัว (tone) ของกล้ามเนื้อลาย และตามมาด้วยการหดตัวเป็นจังหวะติดต่อกัน พลังงานที่เกิดขึ้นจะออกมาในรูปของความร้อน กลไกนี้อยู่นอกอำนาจจิตใจ เกิดขึ้นได้รวดเร็ว ในชั่วเวลาเป็นวินาทีถึงนาที และสามารถเพิ่มความร้อนได้ประมาณ 2-5 เท่าของความร้อนที่สร้างปกติ

**1.4.1.4 จากฮอร์โมน และเนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาล (brown fat tissue)** ในผู้ใหญ่ เมื่อกระทบความเย็นจัด ร่างกายจะมีการหลั่ง epinephrine และ norepinephrine จากต่อมหมวกไตชั้นใน จากปลายประสาทซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงต่อมโดยตรง ส่วนการเพิ่ม metabolism ของเซลล์โดยฮอร์โมนไทรอกซินจะใช้เวลานานกว่า โดยปกติต่อมไทรอยด์จะตอบสนองต่อความเย็น และหลั่งไทรอกซินเมื่อสัมผัสกับความเย็น 1-3 สัปดาห์ ส่วนในเด็กแรกเกิดจะตอบสนองต่อความเย็นโดยการสร้างความร้อนจากเนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาล เพราะเด็กไม่สามารถสร้างความร้อนจากการสั่น เนื่องจากไฮโปทาลามัสยังเจริญไม่เต็มที่ เด็กจะมีเนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาลมากที่หัวไหล่ ด้านหลังของกระดูกอก และรอบคอ การสร้างความร้อนโดยวิธีนี้จะถูกควบคุมโดย norepinephrine ที่หลั่งจากปลายประสาทซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงไขมันชนิดนี้โดยตรง โดยเพิ่มการเพิ่มออกซิเดชั่นของกรดไขมัน

**1.4.2 การสูญเสียความร้อน**

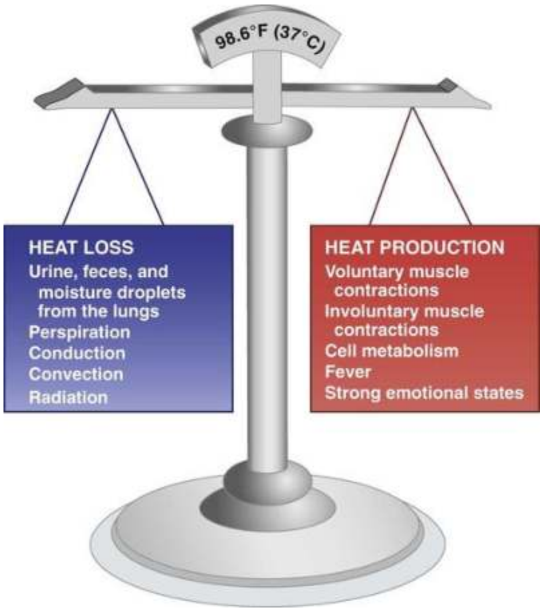
ร่างกายระบายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก 3 วิธีใหญ่ๆ คือ ทางผิวหนัง (97%) ระบบทางเดินหายใจ (2%) และทางระบบขับถ่ายอุจจาระและปัสสาวะ (1%) การสูญเสียความร้อนที่ผิวหนัง มี 4 วิธี คือ

**1.4.2.1 การแผ่รังสี (radiation)** เป็นการสูญเสียความร้อนออกจากผิวหนังในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ อัตราการสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวหนังและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และพื้นที่ผิวที่แผ่รังสี ร่างกายมีการสูญเสียความร้อนด้วยวิธีนี้ประมาณ 60%

**1.4.2.2 การพาความร้อน (convection)** เป็นการระบายความร้อนออกจากผิวหนังโดยอาศัยตัวพา เช่น อากาศ น้ำ ที่อยู่ล้อมรอบ ร่างกายมีการสูญเสียความร้อนด้วยวิธีนี้ประมาณ 12%

**1.4.2.3 การนำความร้อน (conduction)** เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยตรงระหว่างโมเลกุลของอากาศหรือสารที่สัมผัสกับผิวหนัง จากผิววัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ปกติร่างกายมีการสูญเสียความร้อนด้วยวิธีนี้ประมาณ 3%

**1.4.2.4 การระเหย (evaporation)** เป็นการสูญเสียความร้อนออกไป เพื่อทำให้น้ำที่ผิวหนัง เยื่อบุในปาก และทางเดินหายใจส่วนต้น ระเหยกลายเป็นไอโดยไม่รู้สึกตัว เรียกการสูญเสียความร้อนโดยวิธีนี้ว่า **insensible perspiration** ในวันหนึ่งๆ ร่างกายสูญเสียน้ำโดยวิธีนี้ ประมาณ 500 มล. ร่างกายจะมีการสูญเสียความร้อนโดยวิธีนี้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น




รูปที่ 17-1 สมดุลความร้อนในร่างกายมนุษย์

************************************

## ตอนที่ 2

## ระบบควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย (Thermoregulatory system)

อุณหภูมิแกนของร่างกายถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ ในขณะพักและขณะทำงาน เนื่องจากร่างกายมีศูนย์ควบคุมกลไก การสร้างและการระบายความร้อนที่อยู่ในสมองส่วนไฮโปทาลามัส ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของร่างกาย โดยตั้งอุณหภูมิที่กำหนด (setpoint temperature) ไว้ที่ 37 $^0$ซ

**2.1 องค์ประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ** ระบบควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

**2.1.1 ตัวรับรู้อุณหภูมิ (thermoreceptor)** พบอยู่ตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย ทำหน้าที่รับรู้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและส่งสัญญาณต่อไปยังสมอง ประกอบด้วย

**2.1.1.1 ตัวรับรู้อุณหภูมิส่วนปลาย (Peripheral thermoreceptor)** พบอยู่ใต้ผิวหนัง ประกอบด้วย

**=> ตัวรับรู้ความเย็น (cold receptor)** เป็นใยประสาทที่จะถูกกระตุ้นเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าประมาณ 12 - 35 $^0$ซ เรียกว่า เอ็นบัลบ์ ออฟ เคราส์ (Endbulbs of Krause)

**=> ตัวรับรู้ความร้อน (warm receptor)** จะส่งกระแสประสาทไปยังศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย เมื่ออุณหภูมิภายนอกต่ำกว่า 15 $^0$ซ หรือสูงกว่า 45 $^0$ซ

**=> ปลายประสาทชนิดเปลือย (nerve ending)** จะรับความรู้สึกทั้งร้อนและเย็น

ตัวรับรู้อุณหภูมิเหล่านี้จะนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ไฮโปทาลามัส โดยผ่านประสาทไขสันหลังด้านข้าง (lateral spinal tract) นอกจากนี้ยังพบตัวรับรู้อุณหภูมิที่อวัยวะอื่นๆ เช่น ในไขสันหลัง และอวัยวะภายในร่างกาย

**2.1.1.2 ตัวรับรู้อุณหภูมิส่วนกลาง (Central thermoreceptor)** พบในไฮโปทาลามัส ในระบบประสาทส่วนกลาง และอวัยวะภายในช่องท้อง ที่ไฮโปทาลามัส พบว่ามีเซลล์ประสาทที่รับรู้การเปลี่ยนแปลงความร้อน (heat sensitive neuron) และความเย็นเป็นจำนวนมาก ที่บริเวณ preoptic area และไฮโปทาลามัสส่วนหน้า

**2.1.2 ศูนย์ควบคุม**

ศูนย์ควบคุมอยู่ในไฮโปทาลามัสส่วนหน้าและบริเวณใกล้เคียง โดยจะรับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผิวหนัง หรือ อุณหภูมิแกน หรือจากตัวรับรู้อุณหภูมิที่อยู่ในสมองส่วนอื่นๆ จากนั้นสมองบริเวณดังกล่าวจะทำหน้าที่ควบคุมการไหลเวียนของเลือดไปสู่ผิวหนัง ควบคุมการสร้างความร้อน การทำให้เกิดขนลุก การขับเหงื่อ ส่วนข้อมูลที่ส่งเข้ามาทางไฮโปทาลามัสด้านข้างจะเกี่ยวข้องกับพฤติกรรม และที่ไฮโปทาลามัสส่วนหลังจะทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ เป็นทางผ่านเพื่อไปควบคุมอวัยวะการทำงาน (effector organs) ที่จะตอบสนองในการช่วยให้อุณหภูมิแกนคงที่ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ไฮโปทาลามัสทำหน้าที่ประสานระหว่างตัวรับรู้อุณหภูมิ และกลไกการทำงานของร่างกาย

**2.1.3 กลไกการทำงาน**

กลไกการทำงาน ประกอบด้วย กล้ามเนื้อลาย ไขมัน ต่อมเหงื่อ และหลอดเลือด รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ส่วนต่างๆ เหล่านี้จะทำงานรวมกันในการเพิ่มหรือลดความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ กลไกการทำงานถูกควบคุมโดยระบบประสาทเป็นส่วนใหญ่ จึงทำงานได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่เป็นการปรับตัวที่ใช้เวลานาน จะมีฮอร์โมนบางชนิดเข้ามาเกี่ยวข้อง ระบบประสาทที่มาควบคุมกลไกการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

- ระบบมอเตอร์นิวรอน ได้แก่ ระบบประสาทที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อลาย ทำให้เกิดอาการสั่นของกล้ามเนื้อ

- ระบบประสาทซิมพาเทติก ได้แก่ ระบบประสาทที่มาเลี้ยงเนื้อเยื่อไขมัน (brown fat) ต่อมหมวกไตชั้นใน หลอดเลือดที่ผิวหนัง และที่ต่อมเหงื่อ โดยจะช่วยเพิ่มความร้อนจากการทำงานของฮอร์โมนและ เนื้อเยื่อไขมัน หรือช่วยสงวนความร้อนจากการหดตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนัง และควบคุมการระบายความร้อนโดยการขับเหงื่อ

กลไกที่ร่างกายตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ประกอบด้วย 4 กลไกหลัก ได้แก่

**1) การควบคุมอุณหภูมิที่มาเลี้ยงบริเวณผิวหนัง** การทำงานของหลอดเลือดที่ผิวหนังจะเป็นปรากฏการณ์แรกของร่างกายที่ตอบสนองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ที่ผิวหนังจะมีหลอดเลือดฝอยมาเลี้ยงมากและสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง การถ่ายเทความร้อนจึงมีประสิทธิมาก เลือดที่ไหลมาเลี้ยงบริเวณผิวหนังนอกจากจะนำอาหารและออกซิเจนมาเลี้ยงผิวหนังแล้วยังช่วยพาความร้อนจากแกนของร่างกายมาถ่ายเทให้กับสิ่งแวดล้อม อัตราการไหลของเลือดมายังผิวหนังขึ้นอยู่กับการทำงานของไฮโปทาลามัสที่มาควบคุมการขยายและหดตัวของหลอดเลือด

เมื่ออุณหภูมิของร่างกายเปลี่ยนไป เช่น อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมลดลง ตัวรับรู้ความเย็นที่ผิวหนังถูกกระตุ้นและส่งกระแสประสาทเข้าไปยังศูนย์ควบคุมอุณหภูมิในสมอง หลังจากนั้นจะมีสัญญาณมากระตุ้นศูนย์ระบบประสาทซิมพาเธติกในไฮโปทาลามัส ทำให้หลอดเลือดแดงหดตัว ผลทำให้ปริมาณเลือดที่ไหลไปสู่ผิวหนังลดลง จึงเป็นการลดการสูญเสียความร้อนออกจากร่างกาย ในทางตรงข้ามเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น ร่างกายจะพยายามควบคุมไม่ให้อุณหภูมิของร่างกายสูงเกินไป โดยอาศัยการทำงานของตัวรู้ความร้อนที่ผิวหนังส่งสัญญาณไปกดศูนย์ระบบประสาทซิมพาเธติก ทำให้หลอดเลือดที่บริเวณผิวหนังมีการขยายตัว อัตราการไหลของเลือดที่มาที่ผิวหนังมากขึ้น ความร้อนจึงถูกพามาระบายออกให้กับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น อุณหภูมิของร่างกายจึงถูกรักษาให้มีค่าคงที่

ดังนั้นการทำงานของหลอดเลือดที่ผิวหนังช่วยควบคุมอุณหภูมิแกนให้คงที่ โดยการทำหน้าที่ทั้งสงวนความร้อนไว้ หรือการระบายความร้อนออก พบว่าร่างกายมนุษย์สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่โดยใช้กลไกควบคุมการทำงานของหลอดเลือดที่มาเลี้ยงบริเวณผิวหนังเพียงอย่างเดียว

**2) การควบคุมการสร้างความร้อน** เมื่อต้องเผชิญกับความเย็นจัด ร่างกายจะสร้างความร้อนด้วยวิธีต่างๆ เช่น เพิ่ม metabolism ของเซลล์ทั่วร่างกาย หรือ เนื้อเยื่อไขมัน brown fat ในเด็กเล็ก หรือกระตุ้นให้มีการสั่นของกล้ามเนื้อ เป็นต้น

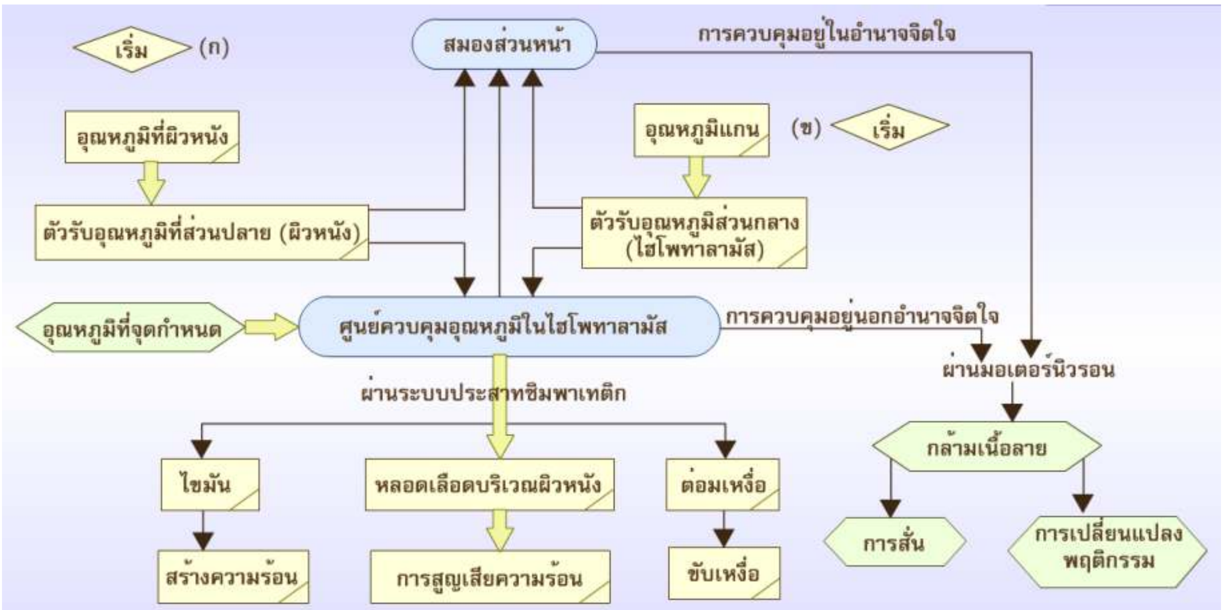
**3) การควบคุมการสูญเสียความร้อน** การขับเหงื่อเป็นกลไกอย่างเดียวที่ร่างกายใช้เมื่อร่างกายมีอุณหภูมิสูงภายใต้การควบคุมของประสาทซิมพาเทติก การขับเหงื่อเกิดจากการกระตุ้นบริเวณส่วนหน้าของไฮโปทาลามัสด้วยความร้อนจัด และจากสารพวกเอพิเนฟริน หรือ นอร์เอพิเนฟริน ในกระแสเลือด ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดอัตราการหลั่งเหงื่อ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อัตราการขับเหงื่อจะสูง

**4) การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม** เมื่ออยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ ร่างกายพยายามที่จะสงวนความร้อนไว้ โดยการงอตัวเพื่อลดพื้นที่ในการสูญเสียความร้อน ใส่เสื้อผ้า การห่มผ้า หรือการพยายามเคลื่อนไหวตลอดเวลา แต่ถ้าอยู่ในอุณหภูมิสูง การใส่เสื้อผ้าบางๆ การดื่มน้ำบ่อยๆ ลดการเคลื่อนไหว พฤติกรรมเหล่านี้อยู่ภายใต้การควบคุมของสมองส่วนหน้า

### 2.2 กลไกการทำงานของไฮโปทาลามัสในการควบคุมอุณหภูมิแกนให้คงที่

ไฮโปทาลามัสทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางประสานงานการควบคุมอุณหภูมิแกน จะรับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากส่วนต่างๆ ของร่างกาย เพื่อเข้ามาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวหนังจะถูกตรวจสอบโดย peripheral thermoreceptors ส่วนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแกน จะถูกตรวจสอบโดย

central thermoreceptors ถ้าพบว่าอุณหภูมิของร่างกายต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนด ส่วนหน้าของไฮโปทาลามัสจะถูกกระตุ้น ร่างกายจะลดการสูญเสียความร้อนโดยการทำให้หลอดเลือดที่ผิวหนังหดตัว และเพิ่มเมทาบอลิซึม โดยการหลั่งฮอร์โมนเอพิเนฟริน หรือทำให้เกิดการสั่นของกล้ามเนื้อลาย ในทางตรงข้าม ถ้าพบว่าร่างกายในขณะนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนด จะมีการกระตุ้นเซลล์ที่ส่วนหน้าของไฮโปทาลามัส เร่งการระบายความร้อนโดยการทำให้หลอดเลือดที่ผิวหนังขยายตัวและเพิ่มการหลั่งเหงื่อ ส่วนกลไกการสร้างความร้อนจะถูกยับยั้ง และมีการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรม




รูปที่ 17-2 แสดงกลไกการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย

************************************

# ตอนที่ 3
# ระบบการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ในสภาวะการปรับตัว และในสภาวะที่เกิดพยาธิสภาพ

## 3.1 การปรับตัวต่อความร้อนและความเย็นที่ผิดปกติ

ร่างกายมนุษย์สามารถปรับตัวได้เมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก โดยมีวิธีการปรับตัว ดังนี้

**3.1.1 การปรับตัวต่อความร้อน** คนที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงตลอดเวลา นักกีฬาที่ออกกำลังกายเป็นเวลานาน ร่างกายจะมีการปรับตัวในเวลาประมาณ 5-10 สัปดาห์ เพื่อป้องกันร่างกายไม่ให้มีอุณหภูมิสูงเกินไป หลอดเลือดใต้ผิวหนังจะขยายตัวได้ง่ายและการขับเหงื่อจำนวนมากอย่างรวดเร็ว และมีการหลั่งฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน เพื่อเพิ่มการดูดกลับของโซเดียมที่ท่อไตรวมและที่ท่อของต่อมเหงื่อโดยตรง เป็นการลดการสูญเสียโซเดียมไปกับเหงื่อ ฤทธิ์ของอัลโดสเตอโรน นอกจากการดูดโซเดียมกลับ ยังมีผลในการขับโปตัสเซียม ทำให้มีโปตัสเซียมในเลือดลดลง ในคนที่มีการสูญเสียน้ำออกจากร่างกายจำนวนมาก ถ้าไม่ได้รับน้ำทดแทนอาจทำให้เป็นลมหมดสติได้ เรียกว่า heat exhaustion

**3.1.2 การปรับตัวต่อความเย็น** สำหรับคนที่อาศัยอยู่ในที่ที่มีอากาศเย็นเป็นเวลานาน จะพบการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ ได้แก่ อัตรา metabolism สูงขึ้นประมาณ 25% หลอดเลือดใต้ผิวหนังหดตัวได้เร็วขึ้น และมีไขมันใต้ผิวหนังหนา และพบว่ามี shivering threshold สูงขึ้น สามารถทนต่ออากาศเย็นได้โดยไม่เกิดการสั่นของกล้ามเนื้อ ส่วนในเด็กเล็กจะเพิ่มความร้อนโดยการเพิ่ม metabolism ของเนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาล

## 3.2 พยาธิสภาพ

### 3.2.1 ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง

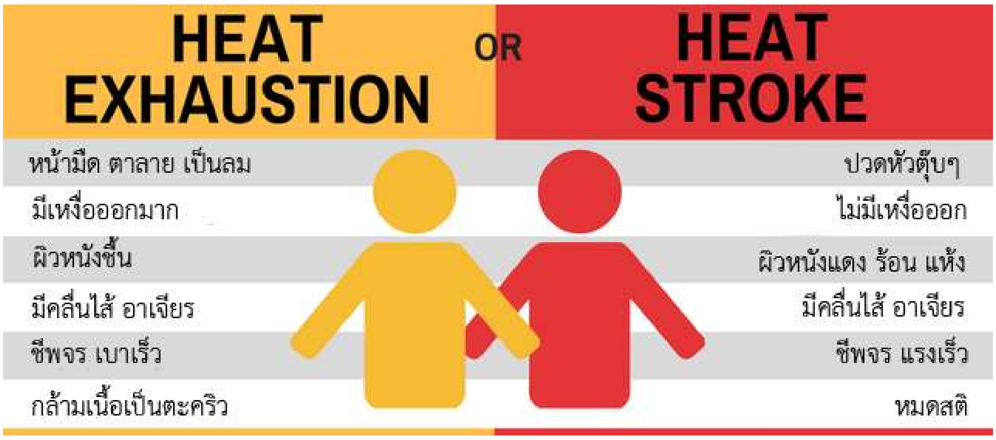
**3.2.1.1 ลมแดด (Heat stroke)** เป็นภาวะที่ผู้ป่วยต้องเผชิญกับสภาพอากาศที่ร้อนจัดเป็นเวลานาน จนทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิสูงกว่า 40 $^{0}$ซ ร่างกายจะเกิดการสูญเสียน้ำจำนวนมาก หากร่างกายไม่ได้รับน้ำทดแทนอย่างเพียงพอ จะมีผลให้ระดับความเข้มข้นของเลือดสูง จนไม่สามารถไหลเวียนไปเลี้ยงร่างกายได้อย่างทั่วถึง ต่อมเหงื่อหยุดทำงาน เพราะความสามารถในการทำงานของศูนย์ควบคุมอุณหภูมิลดลง ผู้ป่วยที่เป็น heat stroke มีอาการ 3 ประการสำคัญ คือ

1) มีไข้สูง

2) ระบบประสาทส่วนกลางทำงานผิดปกติ เช่น กระวนกระวาย, พฤติกรรมผิดปกติ, ก้าวร้าว, ประสาทหลอน หรือหมดสติ บางรายพบมีอาการโซเซ (ataxia) ตั้งแต่ระยะต้นๆ เนื่องจากการทำงานของสมองน้อย ไวต่อความร้อน และมีการทำงานผิดปกติ

3) ไม่มีเหงื่อ ผิวหนังแห้ง

**3.2.1.2 โรคเพลียแดด (Heat exhaustion)** เป็นภาวะที่ร่างกายมีอุณหภูมิสูงมากกว่า 37 $^{0}$ซ แต่ไม่ถึง 40 $^{0}$ซ ร่างกายมีอาการขาดน้ำและเกลือแร่อย่างรุนแรง อาการที่พบ คือ ผู้ป่วยจะมีอาการ อ่อนเพลีย เมื่อยล้า หัวใจเต้นเร็ว ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน หน้ามืด เป็นลม เป็นต้น ลักษณะสำคัญ คือ มีเหงื่อออก และผิวหนังชื้น พบบ่อยในผู้ป่วยสูงอายุที่ขาดน้ำ นักกีฬาที่ออกกำลังกายหนักและนาน โดยเฉพาะวันที่มีอากาศร้อน




รูปที่ 17-3 แสดงความแตกต่างของร่างกาย เมื่อเกิด Heat exhaustion และ Heat stroke

**3.2.2 ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ**

โดยทั่วไป ร่างกายสามารถทนต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง ความเย็นจะลด metabolism ของเซลล์ทั่วร่างกาย ลดอัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจ แต่ถ้าลดลงมากกว่า 33 $^0$ซ สมองจะเริ่มมึนงง ถ้าต่ำกว่า 30 $^0$ซ การทำงานของศูนย์ควบคุมอุณหภูมิจะเสียไป กล้ามเนื้อจะแข็งเกร็ง อาจไม่รู้สึกตัวได้ ถ้าอุณหภูมิยังลดต่อไปเรื่อยๆ จะทำให้มีความผิดปกติของหัวใจ และอาจเสียชีวิตได้




รูปที่ 17-4 แสดงลักษณะของเนื้อเยื่อบางส่วนถูกทำลายที่ถูกทำลายจากความเย็น (frost bite)

การเผชิญกับความเย็นเป็นเวลานาน อาจทำให้เนื้อเยื่อบางส่วนถูกทำลาย เช่น ถ้าน้ำบริเวณผิวเกิดการแข็งตัว เรียกว่าเกิด **frost bite** จะทำให้เจ็บปวดมาก หรือในผู้ป่วยที่เป็น Raynaud's disease หลอดเลือดแดงจะมีความไวต่อความเย็น และจะตีบตันโดยเฉพาะหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงบริเวณปลายมือ ปลายเท้า ทำให้ขาดเลือดไปเลี้ยง อาจมีการตายของเนื้อเยื่อ ถ้าขาดเลือดเป็นเวลานาน

ในทางการแพทย์ ความเย็นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผ่าตัดสมองและหัวใจ โดยการทำร่างกายมีอุณหภูมิต่ำ เรียกว่า **artificial hypothermia** เพราะขณะที่ลดอุณหภูมิของร่างกายลงมาถึง 21-24 $^{0}$ซ ระบบไหลเวียนจะหยุดทำงาน เซลล์ใช้ออกซิเจนลดลง และการทำงานของร่างกายจะกลับคืนสู่สภาพปกติภายหลังการผ่าตัด

***********************************

# เอกสารประกอบการเรียนการสอน

# โรงเรียนนาวิกเวชกิจ ศูนย์วิทยาการ กรมแพทย์ทหารเรือ

## วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์

## (Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)




โดย ว่าที่นาวาเอก สุเทพ จันทร์เทศ วทม.(สรีรวิทยา)

เรือตรี อานนท์ ศิลาเพชร วทม.(สรีรวิทยา)

# สารบัญ


| เนื้อหา | หน้า |
| --- | --- |
| **แผนการสอน บทที่ 1** เรื่อง บทนำกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา | 1 |
| **แผนการสอน บทที่ 2** เรื่อง เซลล์วิทยา | 17 |
| **แผนการสอน บทที่ 3** เรื่อง เนื้อบุผิวและเนื้อยึดต่อ | 41 |
| **แผนการสอน บทที่ 4** เรื่อง ระบบปกคลุมร่างกาย | 53 |
| **แผนการสอน บทที่ 5** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบโครงร่าง | 63 |
| **แผนการสอน บทที่ 6** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบกล้ามเนื้อ | 99 |
| **แผนการสอน บทที่ 7** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบหายใจ | 129 |
| **แผนการสอน บทที่ 8** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบไหลเวียน | 168 |
| **แผนการสอน บทที่ 9** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบย่อยอาหาร | 234 |
| **แผนการสอน บทที่ 10** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบปัสสาวะ | 281 |
| **แผนการสอน บทที่ 11** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบสืบพันธุ์เพศชาย | 319 |
| **แผนการสอน บทที่ 12** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง | 335 |
| **แผนการสอน บทที่ 13** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบประสาท | 356 |
| **แผนการสอน บทที่ 14** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบประสาทอัตโนมัติ | 395 |
| **แผนการสอน บทที่ 15** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา อวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ | 411 |
| **แผนการสอน บทที่ 16** เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบต่อไร้ท่อ | 429 |
| **แผนการสอน บทที่ 17** เรื่อง การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย | 477 |


-------------------------------------------

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** บทนำกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา
(Introduction to Anatomy and Physiology)

**จำนวนชั่วโมง** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับคำที่ใช้ในการศึกษากายวิภาคศาสตร์ การจัดระบบของร่างกาย สภาวะแวดล้อมทางกาย การทรงสภาพปกติทางกาย การขนส่งสารผ่านเยื่อเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. นิยามความหมายของคำว่ากายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาได้อย่างถูกต้อง
2. จำแนกสาขาของกายวิภาคศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง
3. เปรียบเทียบความแตกต่างของจุลกายวิภาคศาสตร์และมหกายวิภาคศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายคำศัพท์ที่ใช้ระบุทิศทางได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายคำศัพท์ที่ใช้ระบุระนาบของร่างกายได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายคำศัพท์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายคำศัพท์ที่ใช้ระบุส่วนต่างๆ ของร่างกายได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายคำศัพท์ที่ใช้ระบุช่องว่างของร่างกายได้อย่างถูกต้อง
9. เปรียบเทียบวิธีการศึกษาโครงสร้างของร่างกายด้วยวิธีพิเศษได้อย่างถูกต้อง
10. เรียงลำดับการจัดโครงสร้างของร่างกายมนุษย์ได้อย่างถูกต้อง
11. บอกชื่อระบบและหน้าที่ของระบบต่างๆ ในร่างกายได้อย่างถูกต้อง
12. อธิบายสภาวะแวดล้อมภายในร่างกายและการรักษาให้ร่างกายอยู่ในสภาวะสมดุลได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 1

****************************************

# บทนำกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา
# (Introduction to Anatomy and Physiology)

**ตอนที่ 1 กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy)**

1. สาขากายวิภาคศาสตร์
    1.1 จุลกายวิภาคศาสตร์ (Microscopic anatomy, Fine anatomy)
    1.2 มหกายวิภาคศาสตร์ (Macroscopic anatomy, Gross anatomy)
2. คำที่ใช้ในการศึกษากายวิภาคศาสตร์ (Anatomical Terminology)
    2.1 คำที่ใช้ระบุทิศทาง (Directional terms)
    2.2 ระนาบของร่างกาย (Body planes)
    2.3 คำศัพท์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (Term of movement)
    2.4 คำที่ใช้ระบุส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Body regions)
    2.5 ช่องว่างในร่างกาย (Body cavity)
3. การศึกษาโครงสร้างของร่างกายด้วยวิธีพิเศษ

**ตอนที่ 2 สรีรวิทยา (Physiology)**

1. ลักษณะของสิ่งมีชีวิต
2. การจัดระดับโครงสร้างของร่างกายมนุษย์
3. สภาวะแวดล้อมภายในร่างกาย (Internal environment)

# บทที่ 1
# บทนำกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา
# (Introduction to Anatomy and Physiology)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม.(สรีรวิทยา)

Anatomy (กายวิภาคศาสตร์) เป็นคำที่มาจากภาษากรีก แปลว่า to cut up หมายถึง การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้าง (structure) ของร่างกาย ส่วน Physiology (สรีรวิทยา) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับหน้าที่ (function) ของส่วนต่างๆ ของร่างกาย เนื่องจากโครงสร้างต่างๆ ของร่างกายและหน้าที่การทำงานของโครงสร้างเหล่านั้นมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน ดังนั้นเพื่อที่จะให้เข้าใจถึงร่างกายของเราอย่างแท้จริง จึงจำเป็นต้องศึกษาทั้งสองวิชานี้ควบคู่กันไป โดยศึกษาถึงโครงสร้างก่อน แล้วตามด้วยหน้าที่ของโครงสร้างนั้น ๆ

## ตอนที่ 1
## กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy)

กายวิภาคศาสตร์เป็นวิชาที่เก่าแก่มากที่สุดวิชาหนึ่งทางด้านการแพทย์ วิชานี้เริ่มครั้งแรกในประเทศอียิปต์ โดยฮิปโปเครติสซึ่งเป็นผู้ที่ได้วางรากฐานวิชากายวิภาคศาสตร์ อริสโตเติล แพทย์และนักวิทยาศาสตร์ชาวกรีก เป็นคนแรกที่เรียกการศึกษาร่างกายมนุษย์โดยการชำแหละว่า *anatome* (หมายถึง การตัดหรือการแยกเป็นส่วน ๆ)

### 1. สาขากายวิภาคศาสตร์

สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 สาขาใหญ่ ดังนี้

**1.1 จุลกายวิภาคศาสตร์ (Microscopic anatomy, Fine anatomy)** เป็นการศึกษาโครงสร้างของร่างกายที่มีขนาดเล็ก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ แบ่งเป็น 2 ชนิด

1.1.1 Histology anatomy เป็นการศึกษาโครงสร้างของเนื้อเยื่อต่าง ๆ

1.1.2 Cytology anatomy เป็นการศึกษาโครงสร้างภายในเซลล์

**1.2 มหกายวิภาคศาสตร์ (Macroscopic anatomy, Gross anatomy)** เป็นการศึกษาโครงสร้างของร่างกาย สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า

1.2.1 Surface anatomy เป็นการศึกษารูปร่างและโครงสร้างเฉพาะภายนอก

1.2.2 Regional anatomy เป็นการศึกษาโครงสร้างของร่างกายในแต่ละส่วน เช่น ส่วนศีรษะ (Head) ส่วนคอ (Neck) ส่วนอก (Thorax) ส่วนแขน (Upper limbs) ส่วนขา (lower limbs) เป็นต้น

1.2.3 Systemic anatomy เป็นการศึกษากายวิภาคศาสตร์ตามระบบต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ระบบไหลเวียนเลือด ระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร และระบบขับถ่ายปัสสาวะ เป็นต้น

1.2.4 Pathological anatomy เป็นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับโรค

1.2.5 Surgical anatomy เป็นการศึกษากายวิภาคศาสตร์ โดยการเน้นส่วนที่มีความสำคัญทางศัลยกรรม

**1.2.6 Developmental anatomy** เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของร่างกาย ตลอดระยะเวลาที่เริ่มมีการพัฒนาการตั้งแต่เซลล์เดียว จนกระทั่งเจริญเติบโตเป็นผู้ใหญ่

**1.2.7 Radiographic anatomy** เป็นการศึกษาโครงสร้างของร่างกาย โดยใช้วิธีการพิเศษ เช่น การฉายรังสีเอ็กซ์ (X-rays), อัลตราซาวด์ (Ultrasound), CT scanning (Computed tomography scanning) MRI (Magnetic resonance imaging) เป็นต้น

## 2. คำที่ใช้ในการศึกษากายวิภาคศาสตร์ (Anatomical Terminology)

การศึกษาโครงสร้างของร่างกาย นิยมใช้คำที่มีรากศัพท์ที่มาจากภาษาลาตินหรือกรีกซึ่งมีความหมายเฉพาะ คำศัพท์เหล่านี้มีความจำเป็นที่นักเรียนต้องจำและทำความเข้าใจตั้งแต่ต้นซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาต่อไป การเรียนวิชากายวิภาคศาสตร์ ต้องรู้จักท่ามาตรฐานกายวิภาค “**Anatomical Position**” เป็นพื้นฐานก่อน คือ ท่าที่ร่างกายอยู่ในท่ายืนตรง มองไปข้างหน้า แขนขาชิดลำตัว หันฝ่ามือไปข้างหน้า เท้าทั้งสองข้างชิด ตามรูปที่ 1-1



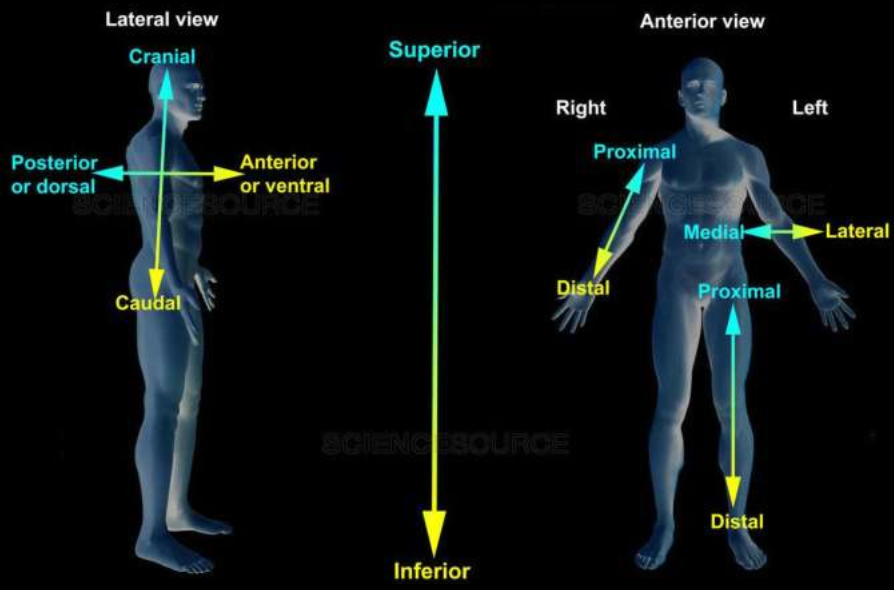
รูปที่ 1-1 แสดงท่าทางกายวิภาค (ที่มา : https://www.scientistcindy.com/anatomical-positions.html)

### 2.1 คำที่ใช้ระบุทิศทาง (Directional terms)

เป็นคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ในตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายและเปรียบเทียบตำแหน่งของโครงสร้างหนึ่งกับโครงสร้างอื่นๆ จากอิริยาบถมาตรฐานทางกายวิภาค

| | | | |
|---|---|---|---|
| => Superior | ข้างบน, สูงกว่า | => Inferior | ข้างล่าง, ต่ำกว่า |
| => Anterior | ด้านหน้า | => Posterior | ด้านหลัง |
| => Ventral | ด้านท้อง | => Dorsal | ด้านหลัง |

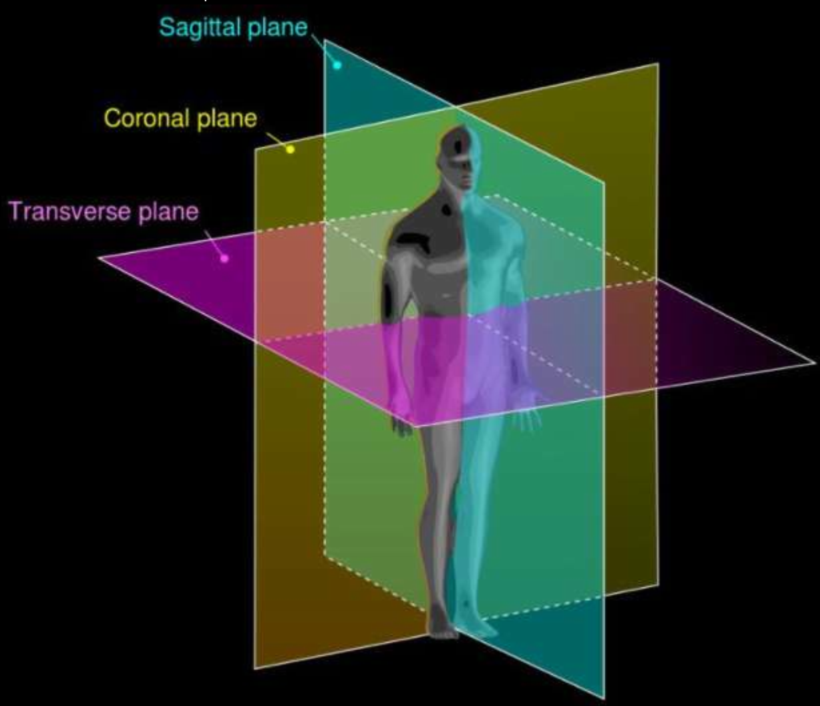
| | | | |
|---|---|---|---|
| => Medial | ใกล้กลาง | => Lateral | ด้านข้าง |
| => Proximal | ใกล้ลำตัว, ส่วนต้น | => Distal | ไกลจากลำตัว, ส่วนปลาย |
| => Superficial | ตื้น | => Deep | ลึก |
| => External | ด้านนอก | => Internal | ด้านใน |
| => Peripheral | ห่างไปจากศูนย์กลาง | => Central | ใกล้ศูนย์กลาง |




รูปที่ 1-2 แสดงภาพที่ใช้ระบุทิศทาง (Directional terms) (ที่มา https://www.sciencephoto.com/)

## 2.2 ระนาบของร่างกาย (Body planes)

เพื่อให้การบ่งบอกบริเวณต่างๆ ให้เฉพาะเจาะจงลงไป ร่างกายสามารถจะแบ่งเป็นระนาบ (plane) ดังนี้




รูปที่ 1-3 แสดงระนาบของร่างกาย (ที่มา https://medictests.com/)

**2.2.1 Midsagittal plane** หมายถึง ระนาบในแนวดิ่งที่แบ่งร่างกายเป็นซีกซ้ายและซีกขวาเท่ากัน ถ้าระนาบในแนวดิ่งนี้แบ่งร่างกายเป็น 2 ซีก ไม่เท่ากัน เรียกว่า **parasagittal plane**

**2.2.2 Frontal plane (Coronal plane)** หมายถึง ระนาบที่ตั้งฉากกับ midsagittal plane แบ่งร่างกายออกเป็นซีกด้านหน้าและซีกด้านหลัง

**2.2.3 Transverse plane** หมายถึง ระนาบที่ตัดขวางร่างกายออกเป็นส่วนบน และส่วนล่าง

**2.2.4 Obligue plane** หมายถึง ระนาบที่ตัดร่างกายออกเป็นแนวเฉียง

**2.3 คำศัพท์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (Term of movement)**

=> Flexion หมายถึง การงอเข้า เมื่อส่วนนั้นเหยียดอยู่ก่อน

=> Extension หมายถึง การเหยียดออก เมื่อส่วนนั้นงออยู่ก่อน

=> Abduction หมายถึง การเคลื่อนไหวออกไปจากส่วนกลาง เช่น การกางแขน หรือกางนิ้วมือ

=> Adduction หมายถึง การเคลื่อนไหวเข้ามาใกล้ส่วนกลาง เช่น การหุบแขนหรือขา

=> Inversion หมายถึง การหมุนข้อเท้าเข้าหาแนวกลางตัว




รูปที่ 1-4 แสดงท่าทางเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว

=> **Eversion** หมายถึง การหมุนข้อเท้าออกจากแนวกลางตัว

=> **Circumduction** หมายถึง การหมุน หรือการแกว่งแขนขาให้เป็นวง

=> **Pronation** หมายถึง การคว่ำ (นอนคว่ำ หรือคว่ำฝ่ามือ)

=> **Supination** หมายถึง การหงาย (นอนหงาย หรือหงายฝ่ามือ)

=> **Plantar flexion** หมายถึง การกระดกฝ่าเท้าลง

=> **Dorsiflexion** หมายถึง การกระดกฝ่าเท้าขึ้น

**2.4 คำที่ใช้ระบุส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Body regions)**

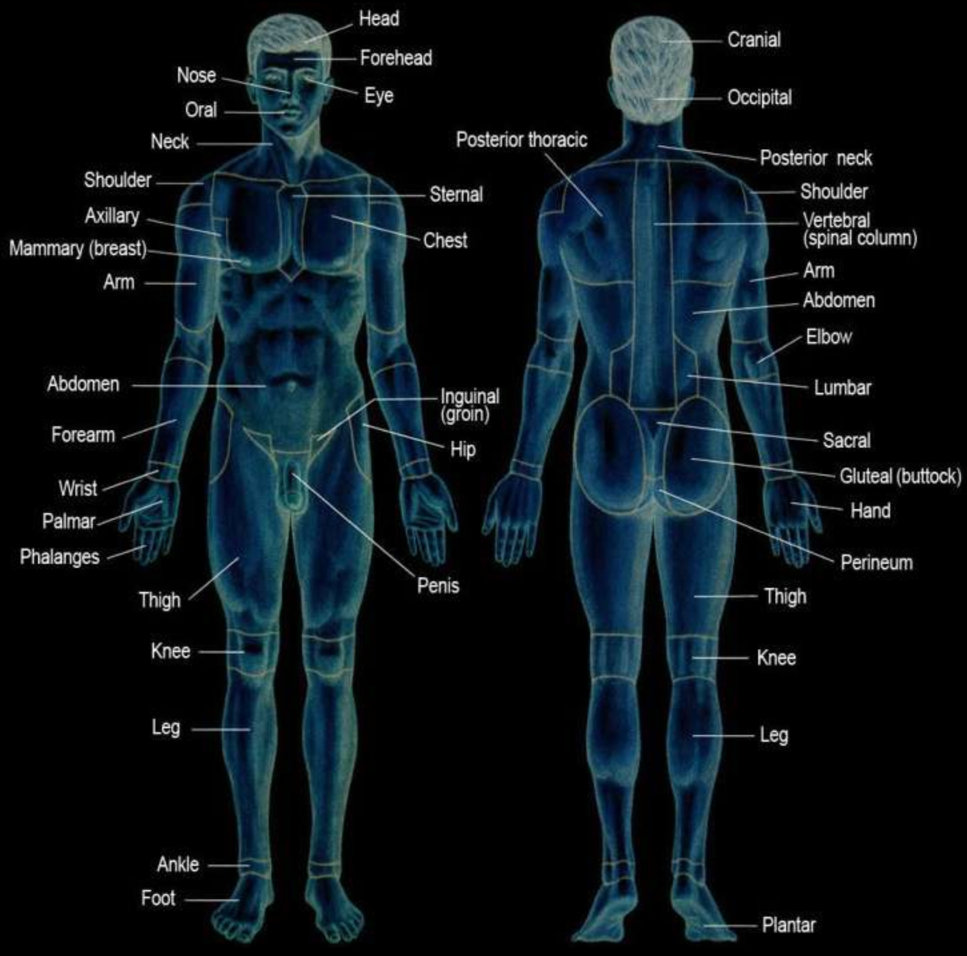
ร่างกายแบ่งออกเป็น ได้ 2 ส่วน (regions) ได้แก่

**2.4.1 Axial part** (ส่วนแกน) ประกอบด้วย ศีรษะ (head) คอ (neck) อก (thorax) ท้องและเชิงกราน (abdomen and pelvis)

**2.4.2 Appendicular part** (ส่วนรยางค์) ประกอบด้วย

**1) Upper extremities หรือ Upper limbs (รยางค์บน)** ได้แก่ ไหล่ (Shoulder) ต้นแขน (Arm) ปลายแขน (Forearm) ข้อมือ (Wrist) มือ (Hand)

**2) Lower extremities หรือ Lower limbs (รยางค์ล่าง)** ได้แก่ ต้นขา (Thigh) ขา (Leg) ข้อเท้า (Ankle) เท้า (Feet)




รูปที่ 1-5 แสดงส่วนต่างๆ ของร่างกาย (ที่มา https://biology-forums.com/)

**2.5 ช่องว่างในร่างกาย (Body cavity)**

ภายในร่างกายมีช่องว่าง (cavity) เป็นทั้งที่อยู่และเกราะป้องกันอวัยวะภายใน แบ่งออกเป็น 2 ช่อง ว่างใหญ่ๆ ได้แก่ Dorsal cavity (posterior cavity) และ Ventral cavity (anterior cavity)

**2.5.1 Dorsal cavity** หมายถึง ช่องว่างที่อยู่ด้านหลังของร่างกาย ประกอบด้วย

1) Cranial cavity เป็นที่อยู่และเกราะป้องกันสมอง

2) Spinal cavity เป็นที่อยู่และเกราะป้องกันไขสันหลัง

**2.5.2 Ventral cavity** หมายถึง เป็นช่องโพรงที่อยู่ทางด้านหน้า มีขนาดใหญ่กว่า Dorsal cavity แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยมีกระบังลม เป็นตัวกั้นช่องโพรงทั้งสองออกจากกัน

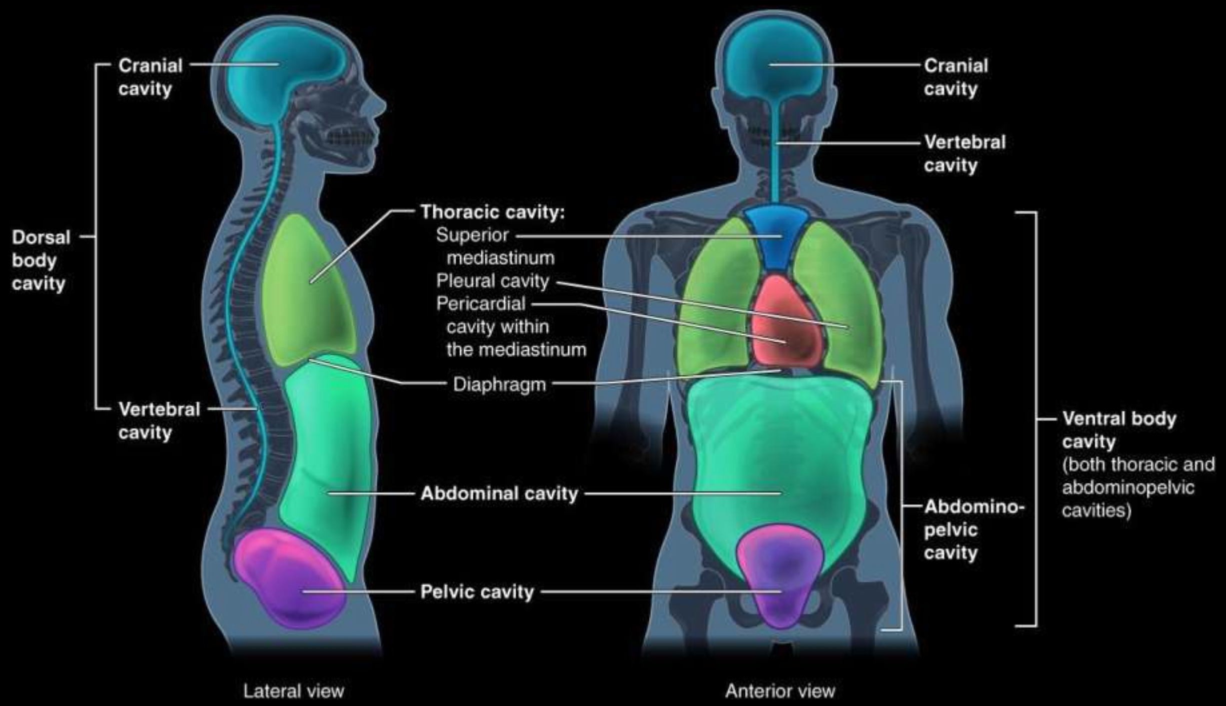
**1) Thoracic cavity** หมายถึง ช่องอก อยู่ด้านบน มีกระดูกซี่โครงเป็นเกราะป้องกัน และแบ่งเป็นช่องย่อยๆ โดยแผ่นเยื่อบางๆ ออกเป็น ช่องรอบหัวใจ (pericardial cavity) และช่องปอด (pleural cavity) ข้างซ้ายและขวา และ mediastinum (เนื้อกลางอก) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อแบ่งปอดออกเป็น 2 ข้าง ใน mediastinum ประกอบด้วย หัวใจ หลอดลมใหญ่ หลอดลม หลอดอาหาร ต่อมไทมัส และ pericardial cavity

**2) Abdominopelvic cavity (peritoneal cavity)** หมายถึง ช่องท้องและเชิงกราน อยู่ด้านล่างใต้ต่อกระบังลม แบ่งเป็น 2 ช่องใหญ่ โดยเส้นสมมติที่ลากจาก sacral promontory ไปยัง pubic symphysis ได้แก่

=> **abdominal cavity** (ช่องท้อง) ประกอบด้วย ตับ ถุงน้ำดี กระเพาะอาหาร ตับอ่อน ม้าม ลำไส้

=> **pelvic cavity** (ช่องเชิงกราน) ภายในประกอบด้วย กระเพาะปัสสาวะ ลำไส้ตรง อวัยวะสืบพันธ์เพศหญิงและชาย

ในช่อง abdominopelvic cavity จะมีแผ่นบางๆ บุอยู่ที่ผนังช่องท้อง และบุที่อวัยวะภายในบางส่วน หรือห่อหุ้มทั้งหมด ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นเยื่อบุช่องท้อง เรียกว่า peritoneal cavity




รูปที่ 1-6 แสดงช่องโพรงที่อยู่ทางด้านหน้าและด้านหลัง

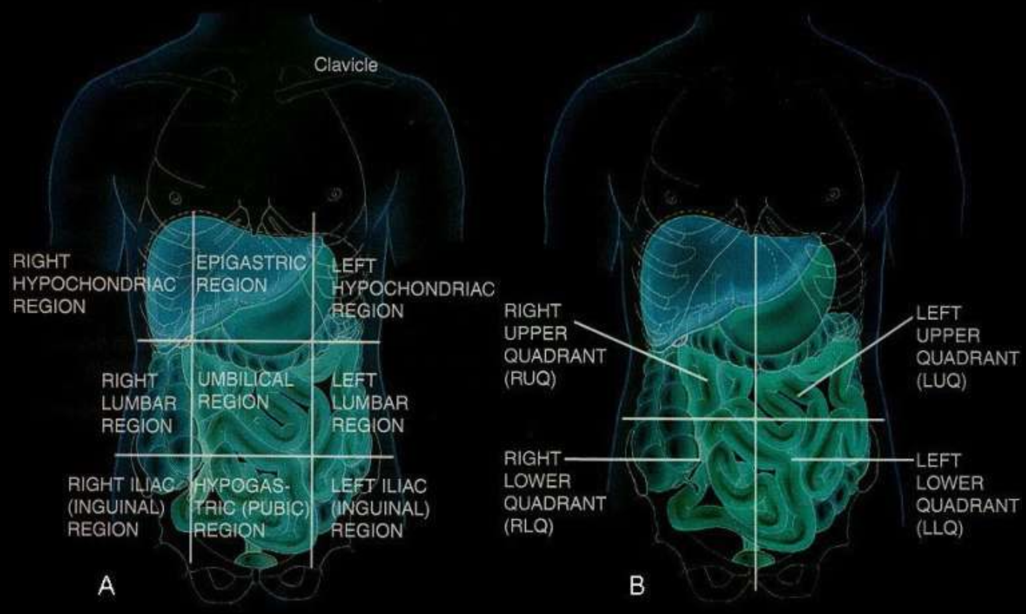
**การแบ่งส่วนท้อง** แบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้

**1. การแบ่งช่องท้องเป็น 9 ส่วน** โดยการลากเส้นสมมติตั้งฉาก 2 เส้น จากจุดกึ่งกลางของไหปลาร้า (midclavicular line) ทั้ง 2 ข้างซ้ายขวา ส่วนเส้นแนวนอนเส้นบนให้ลากเส้นตามแนวนอน จากขอบล่างสุดของกระดูกซี่โครงด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง เส้นตามแนวนอนอีกเส้นล่างลากจากขอบบนของกระดูกสะโพกด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ทำให้แบ่งช่องท้องเป็น 9 ส่วน ประกอบด้วย

1) Right hypochondriac region 2) Left hypochondriac region
3) Epigastric region 4) Umbilical region
5) Right lumbar region 6) Left lumbar region
7) Right iliac (inguinal) region 8) Left iliac (inguinal) region
9) Hypogastric (pubic) region

**2. การแบ่งช่องท้องเป็น 4 ส่วน** อาศัยการลากเส้นสมมติในแนวตั้งและแนวนอนตัดกันที่สะดือ แบ่งช่องท้องเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย

1) Right upper quadrant (RUQ) ช่องท้องบนขวา
2) Left upper quadrant (LUQ) ช่องท้องบนซ้าย
3) Right lower quadrant (RLQ) ช่องท้องล่างขวา
4) Left lower quadrant (LLQ) ช่องท้องล่างซ้าย



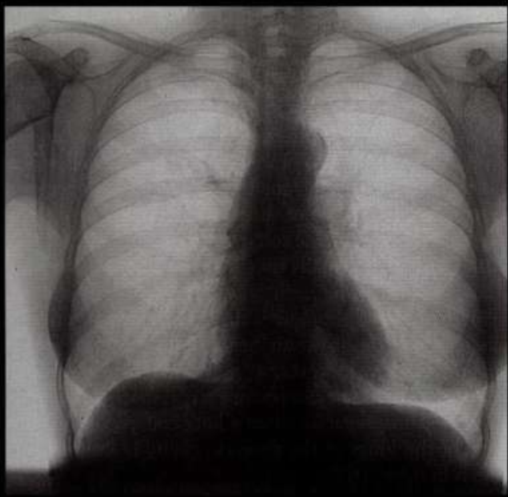

รูปที่ 1-7 แสดงการแบ่งส่วนของหน้าท้องเป็น 9 region (A) หรือ 4 quadrant (B)

## 3. การศึกษาโครงสร้างของร่างกายด้วยวิธีพิเศษ

### 3.1 การฉายรังสีเอกซ์ (X-rays)

การฉายรังสีเอกซ์เริ่มต้นเมื่อปี 1895 โดยการค้นพบของชาวเยอรมันชื่อ Rontgen วิธีนี้ยังเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากและประหยัดค่าใช้จ่าย โดยการฉายรังสีเอกซ์ผ่านโครงสร้างของร่างกายลงไปบนแผ่นฟิล์ม ทำให้เห็นเป็นเงาภาพปรากฏขึ้น

รังสีเอกซ์เป็นรังสีที่มีพลังงานสูงสามารถผ่านเนื้อเยื่อร่างกายได้แต่ความหนาแน่นของเนื้อเยื่อในอวัยวะ ต่างๆ ไม่เท่ากัน เนื้อเยื่อใดที่ยอมให้รังสีผ่านได้น้อยกว่าจะเห็นเป็นสีที่ขาวกว่าบนแผ่นฟิล์ม โดยปกติแล้วภาพขาวดำที่ปรากฎอยู่บนแผ่นฟิล์มมีอยู่ 5 ระดับ เรียงลำดับจากดำไปขาว คือ อากาศ, ไขมัน, เนื้อเยื่ออ่อนและน้ำ, แคลเซี่ยม และโลหะ ตามลำดับ



รูปที่ 1-8 แสดงตัวอย่างภาพเอกซเรย์ทรวงอก (Chest X-rays, CXR) จะเห็นโครงสร้างของอวัยวะต่าง ๆ เช่น ปอด หัวใจ ซี่โครง ไหปลาร้า เป็นต้น

**3.2 เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Tomography, CT)**

เอกซเรย์คอมพิวเตอร์เป็นการใช้รังสีเอ็กซ์และหลักฟิสิกส์เดียวกับการเอกซเรย์ทั่วๆ ไป สามารถตรวจได้ทุกส่วนของร่างกายให้ภาพในแนวระนาบตัดขวาง จึงไม่เกิดภาพซ้อนของอวัยวะและสามารถเห็นความแตกต่างของเนื้อเยื่อได้ดีกว่าเอกซเรย์ธรรมดามาก อาจมีการใช้สารทึบแสงร่วมด้วย ทำให้ได้ภาพที่แสดงรายละเอียดชัดเจนมากขึ้น ข้อเสียของเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ คือ ผู้ตรวจได้รับรังสีเอ็กซ์บ้างเล็กน้อย ดังนั้น จึงไม่ควรตรวจในหญิงตั้งครรภ์ใน 3 เดือนแรก ค่าใช้จ่ายแพง หรืออาจแพ้สารทึบแสง

**3.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imaging, MRI)**

หลักการของ MRI คือให้ส่วนของร่างกายอยู่ในสนามแม่เหล็กความแรงสูง ซึ่งจะไปกระตุ้นโปรตอนที่มีอยู่ในร่างกายให้เกิดการแกว่งและสั่น (resonance) และมีการปล่อยพลังงานออกมา โปรตอนของสารแต่ละชนิดจะตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กต่างกัน พลังงานที่ปล่อยออกมาสามารถตรวจบันทึกได้ แล้วนำมาสร้างภาพด้วยคอมพิวเตอร์




รูปที่ 1-9 เปรียบเทียบการตรวจกระดูกสันหลังส่วนเอว ด้วยวิธี MRI (A) และ CT Scan (B)

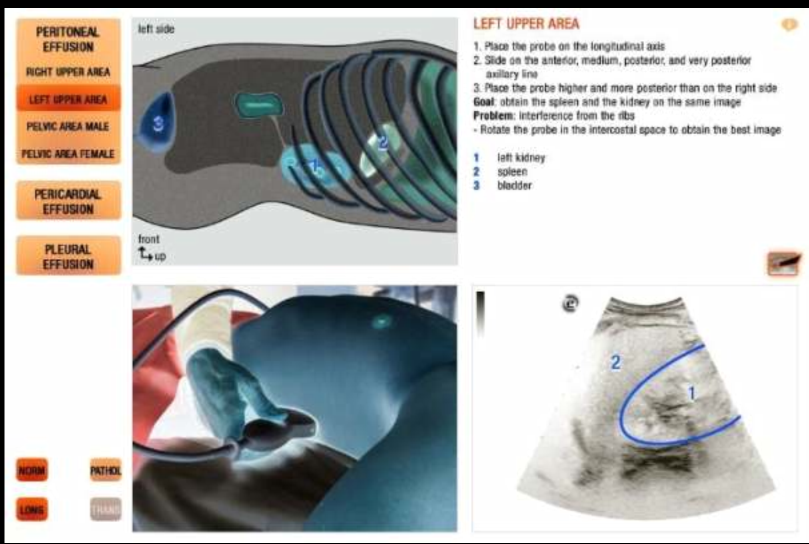
การทำ MRI มีค่าใช้จ่ายสูงมาก แต่ก็มีประโยชน์ในการตรวจอวัยวะภายใน เช่น สมอง ข้อจำกัดของ MRI คือ ไม่สามารถใช้วิธีการนี้กับคนไข้ที่มีโลหะหรือมีเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าฝังอยู่ในตัว เช่น โลหะที่ใช้ดามกระดูก ผู้ป่วยที่ใช้เครื่องกระตุ้นหัวใจด้วยไฟฟ้า และไม่แนะนำให้ใช้กับหญิงตั้งครรภ์

**3.4 อัลตราซาวด์ (Ultrasound หรือ Ultrasonography; U/S)**

การตรวจด้วยอัลตราซาวด์ อาศัยหลักการส่งคลื่นเสียงความถี่สูงตั้งแต่ 1-20 MHz ผ่านหัวตรวจที่เรียกว่า transducer ผ่านผิวหนังเข้าไปยังเนื้อเยื่อภายในร่างกาย ซึ่งแต่ละเนื้อเยื่อจะมีการสะท้อนของเสียงที่ต่างกัน (acoustic impedance) อาศัยหัวตรวจอันเดิมรับเสียงสะท้อนกลับ แล้วนำพลังงานมาสร้างเป็นภาพ ส่วนการที่คลื่นเสียงจะทะลุได้ลึกเท่าใดและมีความละเอียดของภาพมากแค่ไหน ก็ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นเสียง

อัลตราซาวด์เป็นการตรวจแบบ real time รวดเร็ว ไม่ต้องเจ็บตัว ไม่มีปัญหาเรื่องรังสี ตัวเครื่องราคาไม่แพง ค่าใช้จ่ายในการตรวจน้อย เครื่องมีขนาดเล็กเคลื่อนที่ไปที่ใดก็ได้ ให้ภาพได้ทุกแนวและสามารถเลื่อนหัวตรวจไปที่ใดก็ได้ แต่ทั้งนี้ความถูกต้องแม่นยำอาศัยความชำนาญของแพทย์ผู้ตรวจเป็นสำคัญ แต่ก็มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถตรวจผ่านกระดูกผู้ใหญ่และอากาศได้ เช่น กะโหลกศีรษะ ปอด ลำไส้ที่มีอากาศ ลมในช่องท้อง การทำอัลตราซาวด์ นิยมใช้ศึกษาอวัยวะภายในช่องท้องและช่องเชิงกราน การตรวจการไหลเวียนเลือดของหลอดเลือด (doppler ultrasound) การตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (echocardiography) เป็นต้น

ในด้านการแพทย์ฉุกเฉิน มีการทำอัลตราซาวด์ในผู้ป่วยที่ได้รับอุบัติเหตุ สามารถตรวจหาความผิดปกติได้รวดเร็ว เช่น เลือดออกในช่องท้อง ในเยื่อหุ้มหัวใจ ในช่องปอด เรียกการทำอัลตราซาวด์นี้ **FAST** (The Focused Assessment with Sonography in Trauma)




รูปที่ 1-10 การตรวจ FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) เป็นการตรวจโดยอาศัยหลักการของอัลตราซาวด์ เพื่อตรวจดูพยาธิสภาพภายในร่างกาย

************************************

# ตอนที่ 2
# สรีรวิทยา (Physiology)

สรีรวิทยาเป็นการศึกษาถึงหน้าที่การทำงานของส่วนต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งโดยทั่วไปมักจัดเป็นระบบ การศึกษาสรีรวิทยาครอบคลุมตั้งแต่การศึกษาระดับอะตอม โมเลกุล ไปจนถึงการที่สิ่งมีชีวิตอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม สรีรวิทยาแบ่งเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

=> Cell physiology เป็นการศึกษาหน้าที่การทำงานของเซลล์ ซึ่งจะศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นไปภายในเซลล์ รวมทั้งกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นไปภายในเซลล์

=> Special physiology เป็นการศึกษาหน้าที่การทำงานของอวัยวะบางอย่างโดยเฉพาะ เช่น cardiophysiology เป็นการศึกษาหน้าที่การทำงานของหัวใจ

=> Systemic physiology เป็นการศึกษาหน้าที่การทำงานของระบบใดระบบหนึ่งของร่างกายโดยเฉพาะ เช่น neurophysiology เป็นการศึกษาหน้าที่การทำงานของระบบประสาท

=> Pathological physiology เป็นการศึกษากลไกการทำงานที่ผิดปกติของอวัยวะหรือระบบหนึ่งระบบใดโดยเฉพาะ

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสรีรวิทยาที่เน้นเฉพาะบางเรื่อง ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกหลายระบบในร่างกาย เช่น exercise physiology เป็นการศึกษาการทำงานของระบบต่างๆ ในขณะออกกำลังกาย

## 2.1 การจัดระดับโครงสร้างของร่างกายมนุษย์ (Levels of structural organization of the human body)

การจัดและรวบรวม (organization) เป็นลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิต ร่างกายคนเรามีการจัดและรวบรวมโครงสร้างในระดับต่างๆ ดังนี้

### 2.1.1 ระดับเคมี (Chemical level of organization)

การจัดและรวบรวมโครงสร้างในระดับเคมี เป็นการจัดและรวบรวมโครงสร้างในระดับต่ำที่สุด ร่างกาย มนุษย์ประกอบด้วยสารเคมีต่างๆ สารเคมีเหล่านี้ประกอบด้วยอะตอม ซึ่งรวมกันเป็นโมเลกุล สารเคมีเหล่านี้มีทั้งสารอินทรีและอนินทรี ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต

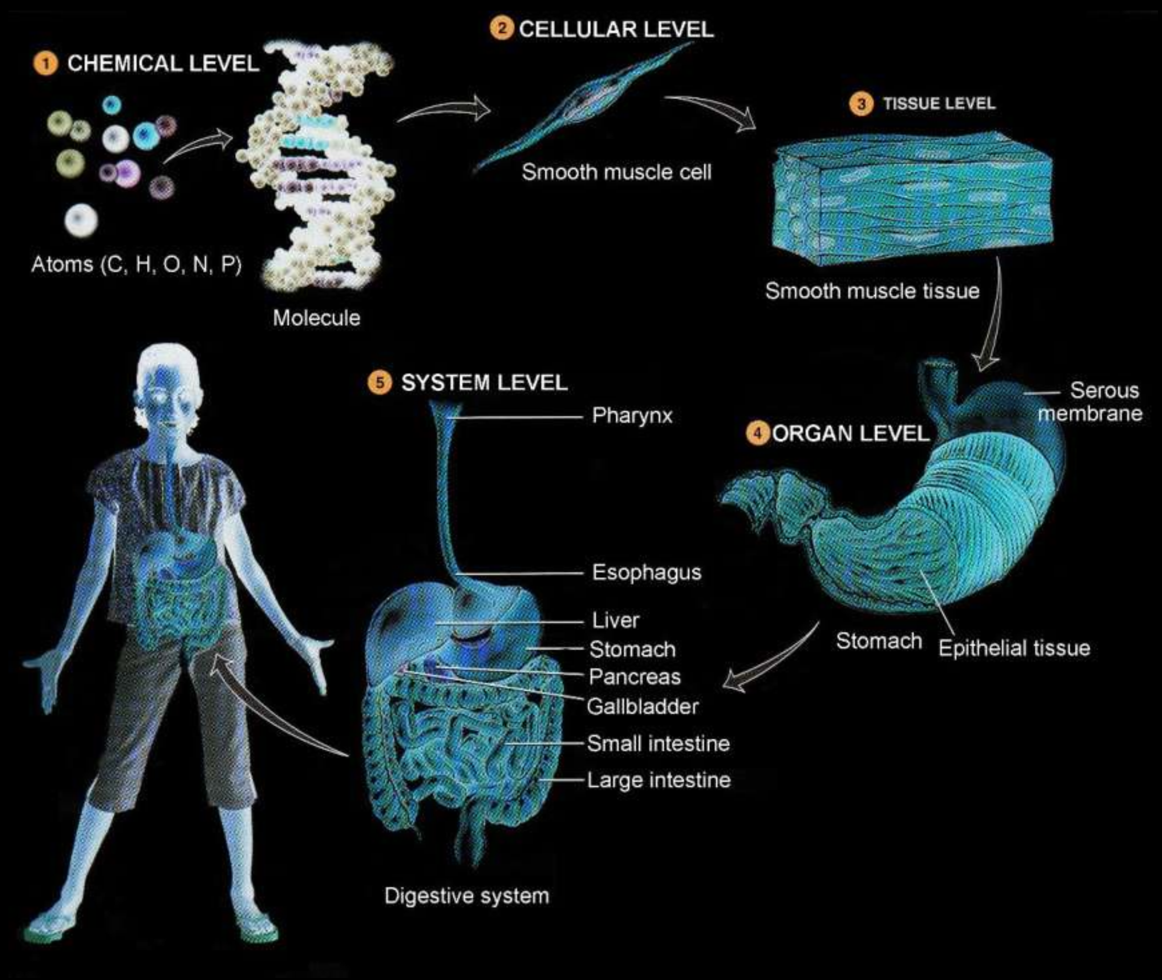
### 2.1.2 ระดับเซลล์ (Cellular level of organization)

เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานที่สำคัญที่สุดของสิ่งมีชีวิต มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเซลล์นั้นๆ แต่ทุกเซลล์จะมี organelle ที่มีหน้าที่เฉพาะอย่าง เช่น mitochondria ทำหน้าที่สร้างพลังงาน หรือ ribosome ทำหน้าที่สร้างโปรตีน เป็นต้น

### 2.1.3 ระดับเนื้อเยื่อ (Tissue level of organization)

เนื้อเยื่อประกอบด้วยเซลล์ที่คล้ายคลึงมาอยู่รวมกัน เพื่อทำหน้าที่เฉพาะอย่าง ในร่างกายมนุษย์มีเนื้อเยื่อ 4 ชนิด ได้แก่

1) **Epithelial tissue (เนื้อเยื่อบุผิว)** พบได้ที่ชั้นนอกสุดของผิวหนัง และบุอยู่ในอวัยวะต่าง ๆ หลอดเลือด และช่องโพรงของร่างกาย มีหน้าที่สำคัญในการป้องกันและในการสร้างสารคัดหลั่ง




รูปที่ 1-11 แสดงการจัดระดับโครงสร้างของร่างกายมนุษย์

**2) Connective tissue (เนื้อยึดต่อ)** เนื้อเยื่อชนิดนี้จะเชื่อมต่อและค้ำจุนส่วนต่างๆ ของร่างกาย พบได้ในผิวหนังและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอ็นและกระดูก เนื้อยึดต่อจะประกอบด้วยเส้นใย ซึ่งประกอบเป็นร่างแหที่แข็งแรง กระจายไปทั่วทุกส่วนของร่างกาย

**3) Muscular tissue (เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ)** เป็นเนื้อเยื่อที่มีความสามารถในการหดตัวได้ ก่อให้เกิดการเคลื่อนไหว ได้แก่ กล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle) กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) และกล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)

**4) Nervous tissue (เนื้อเยื่อประสาท)** พบได้ที่สมอง ไขสันหลัง และเส้นใยประสาท ซึ่งเนื้อเยื่อประสาทสามารถส่งส่งสัญญาณหรือข้อมูลไปยังเนื้อเยื่อชนิดเดียวกันหรือเนื้อเยื่อชนิดอื่นได้

**2.1.4 ระดับอวัยวะ (Organ level of organization)**

เป็นการรวมตัวของเนื้อเยื่อตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้น ทำให้เกิดเป็นอวัยวะเพื่อทำหน้าที่อย่างหนึ่งอย่างใดโดยเฉพาะ เช่น กระเพาะอาหาร เป็นอวัยวะที่มีเนื้อเยื่อหลายชนิดมารวมกัน เช่น เนื้อบุผิว (epithelial tissue) บุอยู่ที่ผนังภายใน มีเนื้อกล้ามเนื้อ (muscular tissue) ทำหน้าที่คลุกเคล้าอาหาร มีเนื้อประสาททำหน้าที่ส่งสัญญาณประสาททำให้เกิดการบีบตัว เป็นต้น

**2.1.5 ระดับระบบ (System level organization)**

เป็นกลุ่มอวัยวะมาร่วมกันทำหน้าที่ใหญ่ ๆ เช่น ระบบปัสสาวะ ประกอบด้วย ไต ท่อไต และกระเพาะปัสสาวะ ในร่างกายมนุษย์นิยมแบ่งเป็นระบบ ดังนี้

| | |
|---|---|
| Integumentary system | ระบบห่อหุ้มร่างกาย ประกอบด้วย ผิวหนัง และโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงมาจากผิวหนัง |
| Skeletal system | ระบบโครงร่าง ประกอบด้วย กระดูก กระดูกอ่อน ข้อต่อต่างๆ |
| Muscular system | ระบบกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย กล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ รวมทั้งเส้นเอ็น (tendon) |
| Nervous system | ระบบประสาท ประกอบด้วยประสาทส่วนกลาง ได้แก่ สมองและไขสันหลัง ระบบประสาทส่วนปลาย ได้แก่ เส้นประสาทสมอง เส้นประสาทไขสันหลัง และระบบประสาทอัตโนมัติ |
| Endocrine system | ระบบต่อมไร้ท่อ ประกอบด้วย ต่อมไร้ท่อต่างๆ ซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกันไป |
| Cardiovascular system | ระบบหัวใจ และหลอดเลือด ประกอบด้วย หัวใจ เลือด หลอดเลือด ทำหน้าที่ปั๊มเลือดไปสู่เนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย |
| Lymphatic system | ระบบน้ำเหลือง ประกอบด้วย ม้าม ทอนซิล ต่อมไทมัส และหลอดน้ำเหลือง ทำหน้าที่ป้องกันร่างกายจากเชื้อโรค ต่างๆ |
| Respiratory system | ระบบหายใจ ประกอบด้วย จมูก คอหอย กล่องเสียง หลอดลม รวมทั้ง ปอดและกล้ามเนื้อที่ช่วยหายใจ |
| Digestive system | ระบบย่อยอาหาร ประกอบด้วย ฟัน ลิ้น ต่อมน้ำลาย หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ ตับ ถุงน้ำดี ตับอ่อน |
| Urinary system | ระบบปัสสาวะ ประกอบด้วย ไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะ |
| Reproductive system | ระบบสืบพันธุ์ ประกอบด้วย ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง และเพศชาย |

ในบางตำรา อาจรวมระบบ Urinary system และระบบ Reproductive system เข้าด้วยกัน เรียกว่า Urogenital system

## 2. สภาวะแวดล้อมภายในร่างกาย (Internal environment)

ร่างกายมนุษย์มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 60% ของน้ำหนักตัว โดยแบ่งเป็นน้ำที่ประกอบเป็นของเหลวในเซลล์ (Intracellular fluid) และของเหลวนอกเซลล์ (Extracellular fluid) ของเหลวนอกเซลล์ประกอบด้วยส่วนที่อยู่ในหลอดเลือด คือ พลาสมา อยู่ในหลอดน้ำเหลือง และของเหลวระหว่างเซลล์ (interstitial fluid) ซึ่งส่วนหลังนี้มีประมาณ 80% ของน้ำนอกเซลล์ทั้งหมด โดยการทำงานของเซลล์จะมีผลให้เกิดความแตกต่างในส่วนประกอบทางเคมีของน้ำในเซลล์และนอกเซลล์ ของเหลวนอกเซลล์ในส่วนพลาสมาและของเหลวระหว่างเซลล์จะซึมผ่านสู่กันได้ โดยผ่านทางผนังหลอดเลือดฝอย ของเหลวนอกเซลล์สองส่วนนี้จึงมีความแตกต่างกันเฉพาะปริมาณโปรตีน ซึ่งมีในพลาสมามากกว่า เซลล์ในร่างกายทั้งหมดจึงถือว่าถูกล้อมรอบด้วยของเหลวนอกเซลล์ซึ่งมีส่วนประกอบเดียวกัน สภาวะแวดล้อมภายในของเซลล์ในร่างกายทั้งหมดจึงได้แก่ของเหลวนอกเซลล์

เซลล์แต่ละเซลล์นอกจากจะทำงานเพื่อรักษาสภาพและหน้าที่ของตนเองแล้วยังมีส่วนร่วมในกระบวนการ homeostasis คือช่วยรักษาสภาวะแวดล้อมภายในร่างกายให้อยู่ในสมดุลอีกด้วย ระบบต่าง ๆ ในร่างกายจะร่วมกันทำหน้าที่รักษาความคงที่ของสภาวะในร่างกาย

สารชนิดต่าง ๆ ในร่างกายจะถูกรักษาให้มีช่วงระดับปกติ (normal range) อยู่ในช่วงหนึ่งซึ่งพอเหมาะกับการทำงานของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ (optimal range) สมดุลของสารเคมีในร่างกายจะขึ้นกับปริมาณที่ร่างกายได้รับและที่ขับออก ถ้าได้รับมากขึ้นและมากกว่าเสียออกจากร่างกายจะเกิดการสะสมของสารนั้นในร่างกาย (positive balance) เมื่อร่างกายปรับให้มีการขับสารนั้นออกมากขึ้นจนเท่ากับปริมาณที่ได้รับจะเกิดภาวะดุล (stable balance) ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าดุลในระยะแรกก่อนที่จะมีการได้รับสารเพิ่มขึ้น ตรงข้ามถ้าได้รับสารเข้าน้อยกว่าที่ร่างกายขับออก จะเกิดการลดลงของสารนั้นในร่างกาย (negative balance)

### Biological rhythm

ปรากฏการณ์หลายชนิดในร่างกายจะเกิดเป็นวงจร จังหวะของวงจรจะถูกกำหนดโดยเซลล์ประสาทในสมองกลุ่มหนึ่ง เรียกว่า biological clock วงจรที่มีความยาวประมาณ 24 ชั่วโมง เรียกว่า circadian rhythm เช่น วงจรการหลับตื่น (sleep-wake cycle) ระดับอุณหภูมิกาย ระดับ growth hormone และ คอร์ติซอล ในเลือด หรือปริมาณโปตัสเซี่ยมที่ขับทางปัสสาวะในแต่ละวัน เป็นต้น อาจเรียกการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในแต่ละวันว่ามี diurnal rhythm เช่น cortisol ซึ่งหลั่งมากที่สุดในตอนตื่นเช้าและต่ำสุดตอนเย็น วงจรบางชนิดยาวประมาณ 1 เดือน เช่น วงจรประจำเดือน

Biological rhythm นี้มีความเกี่ยวข้องกับ homeostasis ของร่างกายและจะเป็นสิ่งหนึ่งซึ่งช่วยให้ร่างกายปรับตัวได้ทันทีหรือก่อนที่จะมีการเสียสมดุลเกิดขึ้น ตัวอย่าง เช่น การขับโปตัสเซี่ยมทางปัสสาวะจะเกิดในตอนกลางวันมากกว่าตอนกลางคืนซึ่งไม่มีการรับประทานอาหาร เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายนอก เช่น ความมืดความสว่าง (light-dark cycle) จะมีอิทธิพลทำให้จังหวะเวลาของวงจรเปลี่ยนแปลงได้ แต่ภายในขอบเขตจำกัด เช่น วงจรการตื่นการหลับจะไม่สามารถปรับให้สั้นกว่า 23 ชั่วโมง หรือยาวกว่า 27 ชั่วโมงได้ ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของ light-dark cycle น้อยหรือมากไปจากเดิมเพียงใด การเปลี่ยนเวลายังทำให้จังหวะเวลาของวงจรที่ร่างกายกำหนดไว้เดิมถูกกำหนดใหม่ได้ เช่น เมื่อคนทางซีกโลกหนึ่งย้ายไปอยู่อีกซีกโลกหนึ่ง circadian rhythm ชนิดต่าง ๆ ของคนผู้นี้จะค่อย ๆ เปลี่ยนไปตามเวลาของที่อยู่ใหม่ การปรับเปลี่ยนของนิวรอนแต่ละกลุ่มซึ่งควบคุมจังหวะต่าง ๆ ในร่างกายกินเวลาไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดความไม่สอดคล้องซึ่งกันและกันในการทำงานของนิวรอนเหล่านั้น อาจเป็นสาเหตุให้เกิดอาการผิดปกติบางอย่างของร่างกาย เช่น นอนหลับยาก มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร อ่อนเพลีย เป็นต้น เรียกกลุ่มอาการเหล่านี้ว่า jet lag

### Acclimatization

ถ้าร่างกายต้องเผชิญกับภาวะเปลี่ยนแปลงภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความสูงของที่อยู่อาศัย จะทำให้เกิดความเครียด (stress) ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ร่างกายจะพยายามปรับตัว ให้มีการตอบสนองดีขึ้นกับภาวะ stress นั้น ๆ เรียกการปรับตัวนี้ว่า acclimatization ตัวอย่างคนซึ่งอยู่ในประเทศหนาว ถ้าย้ายมาอยู่ในประเทศที่มีอากาศร้อน กลไกการปรับตัวเพื่อระบายความร้อนจากร่างกาย เช่น การขับเหงื่อ จะยังเกิดไม่ดีในระยะแรก ทำให้อุณหภูมิกายค่อนข้างสูงกว่าที่เคย แต่ในระยะประมาณหนึ่งสัปดาห์ต่อมา จะพบว่ามีการขับเหงื่อเกิดมากขึ้น และอุณหภูมิกายจะไม่เพิ่มเหมือนในระยะต้น ๆ อย่างไรก็ตามถ้ากลับไปอยู่ในที่อากาศหนาวเช่นเดิมการขับเหงื่อจะกลับน้อยลงเพื่อเก็บความร้อนไว้ในร่างกายแสดงว่ากระบวนการ acclimatization นี้ เปลี่ยนกลับไปมาได้ (reversible)

**Aging (ความแก่)**

ผู้สูงอายุ จะมีการตายของเซลล์มากขึ้น เซลล์แบ่งตัวลดลง เซลล์ที่ทำงานผิดปกติมีมากขึ้น ดังนั้นถึงแม้ว่าผู้สูงอายุนั้นจะปราศจากโรคภัยซึ่งมีผลต่อการสูญเสียหน้าที่ของเซลล์ แต่โดยภาวะของความสูงอายุเอง ความสามารถในการปรับตัวของร่างกายต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะแวดล้อม หรือ homeostasis จะเสื่อมถอยลงตามลำดับ

**การควบคุมสภาวะสมดุลในร่างกาย (Homeostasis)**

ระบบควบคุมสมดุลภายในร่างกาย (Homeostatic control system) ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ตัวรับรู้ (detector or sensor) ซึ่งจะรับรู้การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายนอกหรือภายในร่างกาย ที่แตกต่างไปจากภาวะปกติ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงถือว่าเป็นตัวกระตุ้น ตัวรับรู้จะส่งสัญญาณไปศูนย์ประสานงานส่วนกลาง ศูนย์เหล่านี้จะรับสัญญาณจากตัวรับรู้หลายแห่งได้พร้อม ๆ กัน และส่งสัญญาณต่อไปเพื่อติดต่อกับส่วนต่าง ๆ ของร่างกายซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงาน โดยพยายามทำให้ดุลในร่างกายที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นกลับคืนมาใกล้เคียงกับภาวะเดิมให้มากที่สุด หรือ เรียกว่า ปรับให้ร่างกายกลับมาอยู่ในภาวะคงที่

***********************************

เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** เซลล์วิทยา (Cytology)

**จำนวน** 2 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับเซลล์ โครงสร้างของเซลล์ การขนส่งสารผ่านเยื่อเซลล์ และศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกส่วนประกอบของเซลล์ได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของเยื่อเซลล์ได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของนิวเคลียสได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของไซโตพลาสซึมได้อย่างถูกต้อง
5. บอกหน้าที่ของออร์กาเนลต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
6. บอกชนิดของการขนส่งผ่านเยื่อเซลล์ได้อย่างถูกต้อง
7. นิยามคำว่าการแพร่ได้อย่างถูกต้อง
8. เปรียบเทียบความแตกต่างการแพร่แบบธรรมดาและการแพร่โดยอาศัยตัวพาได้อย่างถูกต้อง
9. บอกความแตกต่างของสารละลายชนิดต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
10. ตัดสินใจเลือกใช้สารน้ำในภาวะวิกฤติของผู้ป่วยได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายชนิดของการขนส่งแบบใช้พลังงานได้อย่างถูกต้อง
12. บอกความแตกต่างของการลำเลียงสารเข้าออกเซลล์ได้ถูกต้อง
13. อธิบายน้ำที่อยู่ในส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ถูกต้อง
14. สรุปกลไกการเกิดศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ได้อย่างถูกต้อง
15. บอกความสำคัญของศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน

3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 2

**************************************

# เซลล์วิทยา
# (Cell cytology)

ตอนที่ 1 เซลล์ : หน่วยพื้นฐานของร่างกาย

1.1 เยื่อเซลล์ (Plasma cell, Plasma membrane)

1.2 นิวเคลียส (Nucleus)

1.3 ไซโตพลาสซึม (Cytoplasm)

ตอนที่ 2 การขนส่งผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane transport)

2.1 การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

2.2 การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

ตอนที่ 3 สิ่งแวดล้อมของเซลล์ (Cell Environment)

ตอนที่ 4 ศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ (Membrane potential)

# บทที่ 2
# เซลล์วิทยา (Cytology)

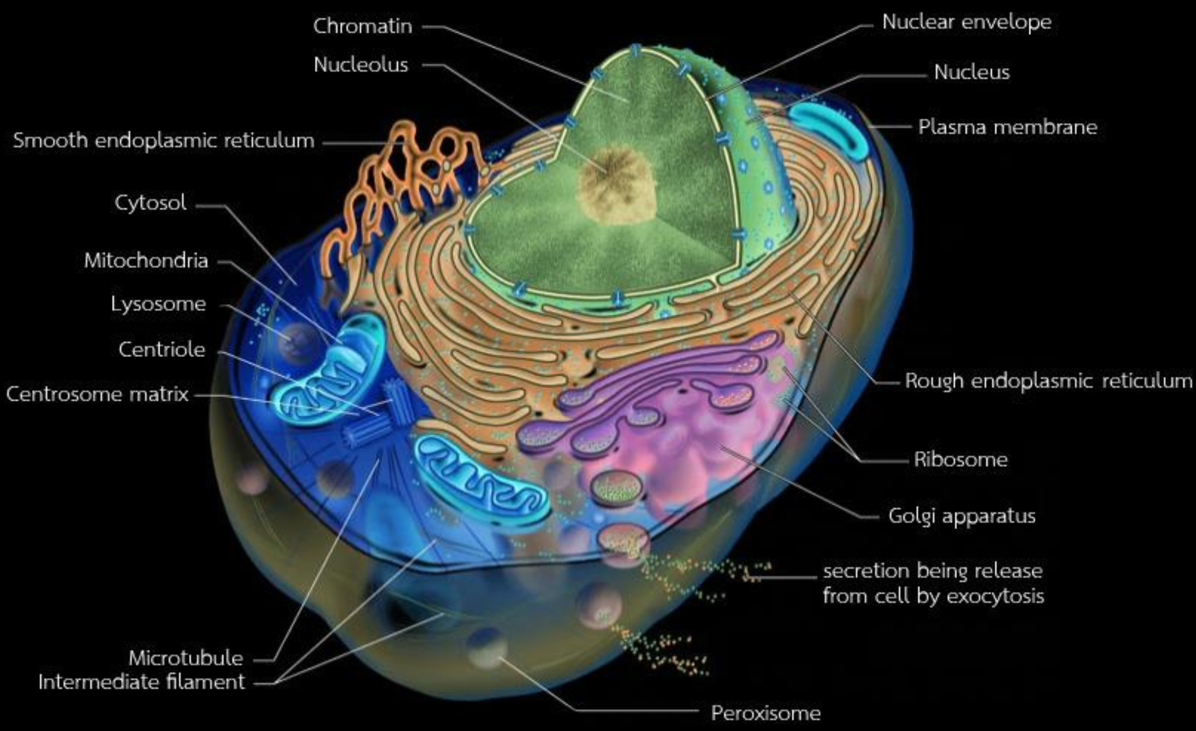
ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม.สรีรวิทยา

ร่างกายมนุษย์มีการจัดและรวบรวม (organization) เป็นโครงสร้างในระดับต่างๆ ตั้งแต่ ระดับเคมี ระดับเซลล์ ระดับเนื้อเยื่อ ระดับอวัยวะ และระดับระบบต่างๆ ของร่างกาย ในบทเรียนนี้ จะได้ศึกษาการทำงานของเซลล์ ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานของโครงสร้างและการทำงานของร่างกาย กระบวนการต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับชีวิตเกิดขึ้นภายในเซลล์เป็นส่วนใหญ่ และกระบวนการในการเกิดโรคก็เริ่มต้นมาจากเซลล์

## ตอนที่ 1
## เซลล์ : หน่วยพื้นฐานของร่างกาย

ร่างกายของของคนเรา ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิด คือ เซลล์ร่างกาย (somatic cells) ซึ่งมีมากมายหลายชนิด และเซลล์สืบพันธุ์ (sex cells, germ cells, reproductive cells) มี 2 ชนิด คือ เซลล์อสุจิ (sperm) ของผู้ชาย และเซลล์ไข่ (ova) ของผู้หญิง

การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ เริ่มต้นมาจากการค้นพบเซลล์ในศตวรรษที่ 17 โดย Hook ซึ่งได้ตั้งทฤษฎีเซลล์ (cell theory) ซึ่งกล่าวว่า สิ่งมีชีวิตทั้งมวลย่อมประกอบด้วยเซลล์ ต่อมาเมื่อมีกล้องจุลทรรศน์ Light microscope ก็มีทฤษฎีที่เรียกว่า Protoplasm theory ซึ่งกล่าวว่า "ภายในเซลล์ประกอบด้วยสารใสๆ มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวคล้ายวุ้น ซึ่งให้ชื่อว่า "protoplasm" การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ได้ทำกันอย่างจริงจังเมื่อได้มีการค้นพบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างและส่วนประกอบภายในเซลล์ได้ละเอียดและถูกต้องมากยิ่งขึ้น




รูปที่ 2-1 แสดงโครงสร้างของเซลล์

**เซลล์** แบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ คือ

1. **เยื่อเซลล์** (Plasma cell, Plasma membrane, Plasmalemma)
2. **นิวเคลียส** (Nucleus) ประกอบด้วย nuclear membrane, nucleoplasm และ nucleolus
3. **ไซโตพลาสซึม** (Cytoplasm) ประกอบด้วย cytosol, organelles และ cytoplasmic inclusion

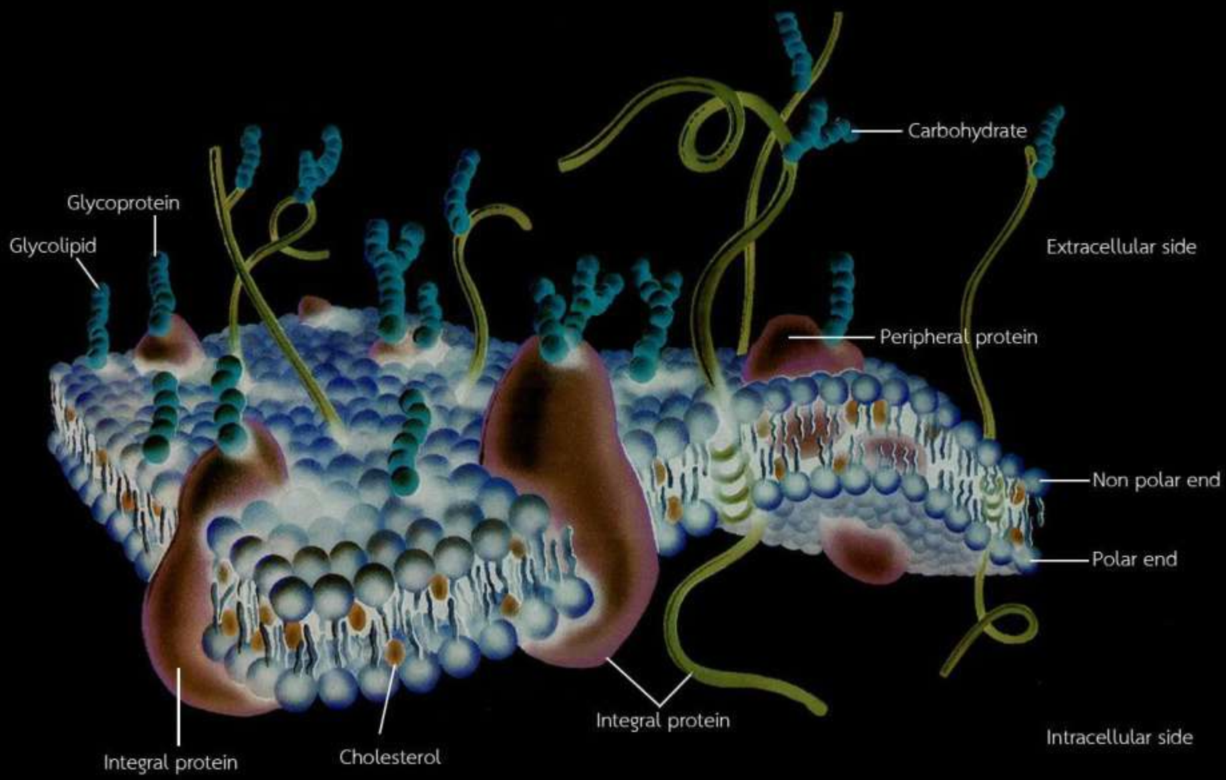
**Organelle** ที่อยู่ภายในเซลล์ จำแนกได้เป็น 2 ประเภท

1. **Organelle ที่มีเยื่อหุ้ม** ได้แก่ mitochondria, endoplasmic reticulum, Golgi complex, lysosome และ peroxisomes
2. **Organelle ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม** ได้แก่ microfilament, microtubule, centrosome, cilia และ microvilli

## 1. เยื่อเซลล์ (Plasma cell, Plasma membrane, Plasmalemma)

เยื่อเซลล์เป็นโครงสร้างของเซลล์ที่หุ้มอยู่รอบเซลล์ เพื่อแยกเซลล์ออกจากสิ่งแวดล้อม โครงสร้างเยื่อเซลล์เป็น lipid bilayer มีส่วนประกอบสำคัญ คือ phospholipid และโปรตีน โครงสร้างของเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ในปี คศ.1972 Singer และ Nicolson ได้เสนอโครงสร้างของเยื่อเซลล์เป็นแบบ Fluid mosaic model ซึ่งเป็นรูปแบบโครงสร้างของเยื่อเซลล์ในปัจจุบัน โดยกล่าวว่า โครงสร้างของเยื่อเซลล์เป็นไขมัน เรียงตัว 2 ชั้น (phospholipid bilayer) และมีโปรตีน (integral protein, peripheral protein) แทรกอยู่ตามชั้นของไขมัน โครงสร้างของเยื่อเซลล์นี้มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา การเรียงตัวของไขมันนั้นจะหันปลายข้างที่มีขั้ว (ชอบน้ำ) ออกด้านนอก หันปลายข้างที่ไม่มีขั้ว (ไม่ชอบน้ำ) เข้าด้านใน




รูปที่ 2-2 แสดงโครงสร้างของเยื่อเซลล์

โปรตีนเยื่อเซลล์ ประกอบด้วย

**1. Integral protein** คือ โปรตีนที่ฝังตัวแทรกลึกลงไปใน phospholipid bilayer อาจจะตลอดความหนาหรือไม่ตลอดความหนาของ phospholipid bilayer ก็ได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น glycoprotein (โปรตีนที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาล)

**2. Peripheral protein** เป็นโปรตีนที่ไม่ได้ฝังตัวลึกลงไปใน Phospholipid bilayer แต่จะเกาะติดกับผิวของ Phospholipid bilayer อย่างหลวม ๆ ซึ่งอาจจะอยู่ที่ผิวด้านในหรือผิวด้านนอกของ Phospholipid bilayer ก็ได้

โปรตีนเหล่านี้ทำหน้าที่ ดังนี้

=> เป็นช่องหรือรู (channel หรือ pore) ที่เป็นทางผ่านของสารเข้าและออกนอกเซลล์

=> เป็นตัวพา (carrier หรือ transporter) เพื่อช่วยลำเลียงสารผ่านเข้าและออกเซลล์

=> เป็นตัวรับ (receptor) สำหรับฮอร์โมน หรือสารสื่อประสาท (Neurotransmitter)

=> เป็นน้ำย่อย (enzyme) เพื่อย่อยสลายสารบางอย่างได้ เช่น ที่ผิวของผนังลำไส้เล็กจะมีเอ็นไซม์ Lactase เพื่อย่อยน้ำตาลแลกโตส ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ กาแลคโตสและกลูโคส

**หน้าที่ของเยื่อเซลล์**

เยื่อเซลล์ ไม่ได้เป็นแค่โครงสร้างของเซลล์ แต่ยังเกี่ยวข้องกับหน้าที่ต่างๆ ของเซลล์ ที่สำคัญ ดังนี้

1. ทำหน้าที่ห่อหุ้มและปกป้องสิ่งที่อยู่ในเซลล์ แยกภายในเซลล์ออกจากสิ่งแวดล้อมภายนอก รวมทั้งเป็นตัวกำหนดขอบเขตของเซลล์ ทำให้เซลล์มีรูปร่างต่างๆ

2. เยื่อเซลล์ เป็นตัวควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ เช่น สารอาหาร ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ของเสีย และสารที่หลั่งจากเซลล์

3. ที่เยื่อเซลล์มี integral protein ฝังอยู่ ทำหน้าที่เป็นตัวรับ (receptor) ทำให้เซลล์สามารถจดจำ และเลือกจับเฉพาะสารบางอย่าง

4. เยื่อเซลล์มี peripheral protein ทำหน้าที่เป็นเอ็นไซม์ กระตุ้นปฏิกิริยาเคมี

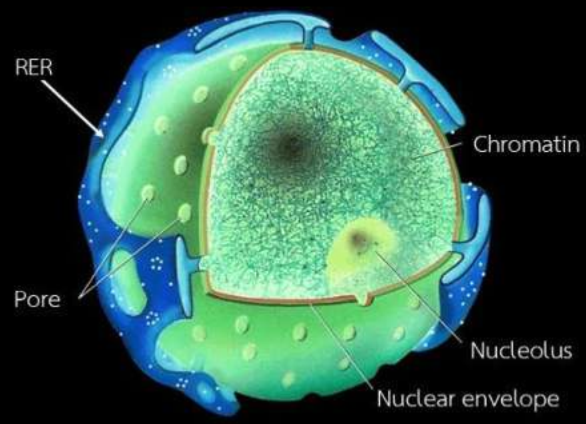
5. ส่วนประกอบของเยื่อเซลล์เป็น substrate ที่นำไปใช้สังเคราะห์สารบางอย่าง เช่น arachidonic acid เป็น substrate ที่ใช้ในการสร้าง prostaglandin

6. เยื่อเซลล์ของเซลล์บางชนิด มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เพื่อทำหน้าที่พิเศษ เช่น เปลี่ยนแปลงไปเป็น villi, microvilli, stereocilia, junctional complex เป็นต้น

## 2. นิวเคลียส (Nucleus)

นิวเคลียสประกอบด้วยสารพันธุกรรม ซึ่งได้แก่ DNA ปกตินิวเคลียสมีรูปร่างกลมอยู่กลางเซลล์ ภายในนิวเคลียส ประกอบด้วย nucleolus และ nucleoplasm ซึ่งล้อมรอบเยื่อหุ้มที่เรียกว่า nuclear membrane ที่พับซ้อนเป็น 2 ชั้น เรียกว่า nuclear envelope และมีทางให้สารผ่านเข้าออกได้ เรียกว่า nuclear pore เซลล์ส่วนใหญ่มีนิวเคลียสอันเดียว ยกเว้นเซลล์บางชนิด เช่น เซลล์กล้ามเนื้อลายมีนิวเคลียสหลายอัน หรือเซลล์เม็ดเลือดแดงไม่มีนิวเคลียส

นิวเคลียสทำหน้าที่ควบคุมการทำงานส่วนอื่นๆ ภายในเซลล์ เช่น ควบคุมเมตาบอลิซึม การเจริญเติบโต การสืบพันธ์ ควบคุมการถ่ายทอดทางพันธุกรรม นิวเคลียสจึงเป็นตัวกำหนดโครงสร้างและการทำงานของเซลล์โดยควบคุมการสร้างโปรตีน




รูปที่ 2-3 แสดงโครงสร้างของนิวเคลียส

**2.1 Nucleolus**

เป็นบริเวณที่มี RNA, DNA และโปรตีนมาเกาะกลุ่ม ลักษณะเป็นเส้นใยเกาะกันเป็นกลุ่ม ประกอบด้วย histone และเอ็นไซม์มีลักษณะเป็นรูปทรงกลม หน้าที่ของ nucleolus คือ การสร้าง rRNA ส่งออกนอกนิวเคลียส โดยผ่านทาง nuclear pore เพื่อสร้างโปรตีนใน cytoplasm

**2.2 Nucleoplasm**

เป็นของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ล้อมรอบ nucleolus โดยมี nuclear membrane กั้นแยกจากส่วนไซโตพลาสซึมของเซลล์ ใน nucleoplasm ประกอบด้วย chromatin

**2.3 Nuclear membrane (Nuclear envelope)**

เป็นเยื่อหุ้มนิวเคลียส ลักษณะเป็นเยื่อ 2 ชั้น แยกจากกัน ตรงกลางเป็นช่อง เรียกว่า perinuclear space เยื่อหุ้มนี้มีรู (nuclear pore) จำนวนมาก รูเหล่านี้เป็นทางให้สารผ่านเข้าออกระหว่างนิวเคลียสและไซโตพลาสซึม

## 3. ไซโตพลาสซึม (Cytoplasm)

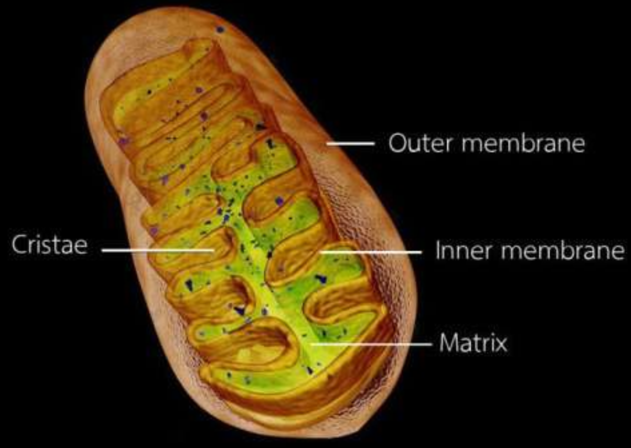
ไซโตพลาสซึม หมายถึง สิ่งที่บรรจุอยู่ภายในเซลล์ ยกเว้นนิวเคลียส แยกเป็น 3 ส่วน คือ

1. Cytoplasm organelle เป็นองค์ประกอบที่มีชีวิต เช่น Mitochondria, Rough endoplasmic reticulum (RER), Smooth endoplasmic reticulum (SER), Golgi apparatus, Lysosome, Ribosome, Cytoskeleton เป็นต้น
2. Cytoplasmic inclusions เป็นสิ่งไร้ชีวิตที่แขวนลอยใน cytoplasm ได้แก่ อาหารที่เก็บไว้ในเซลล์ และเม็ดสี
3. Cytosol เป็นส่วนของของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์

**Cytoplasm organelle** ได้แก่

**1. ไมโตคอนเดรีย (Mitochondria)**

ไมโตคอนเดรีย มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ ปกติมักมีรูปร่างเป็นแท่งปลายทั้ง 2 ข้าง มนกลม จำนวนไมโตคอนเดรียขึ้นอยู่กับชนิดและระยะของการพัฒนาของเซลล์ ไมโตคอนเดรียมีเยื่อหุ้มซ้อนกัน 2 ชั้น ชั้นนอกมีรูจำนวนมาก และยอมให้สารที่มีโมเลกุลเล็กๆ ผ่านเข้าออกได้ ชั้นในยื่นเข้าไปในช่องตรงกลาง เป็นรอยพับมากมาย เรียกว่า cristae บริเวณเนื้อเยื่อนี้มีเอ็นไซม์ที่ใช้ในการผลิต ATP




รูปที่ 2-4 รูปแสดง mitochondria

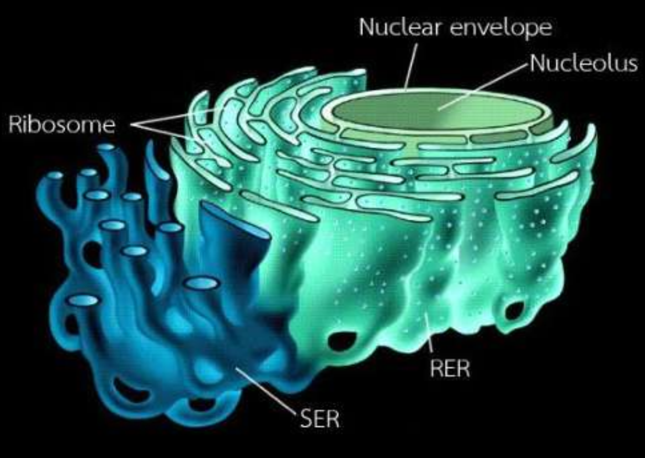
ไมโตคอนเดรีย มีหน้าที่สำคัญในการสร้างพลังงานให้แก่เซลล์ ในรูปของ adenosine triphosphate (ATP) รวมทั้งยังมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก

**2. เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum, ER)**

เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม มีลักษณะเป็นร่างแห เรียงตัวซ้อน ๆ กัน และติดต่อถึงกัน รูปร่างและขนาดมีความแตกต่างกันไปตามการทำงานในแต่ละระยะต่างๆ อาจเป็นแท่งยาวหรือมีลักษณะเป็นถุงแบน และมีเนื้อหุ้มเอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม มี 2 ชนิด ได้แก่

**2.1 Rough endoplasmic reticulum (RER)** ผิวด้านนอกของ RER มีลักษณะขรุขระ เนื่องจากมี ribosome มาเกาะติดอยู่ที่ผิว หน้าที่หลักของ RER คือ การสังเคราะห์โปรตีน เช่น ฮอร์โมน สำหรับส่งออกไปใช้นอกเซลล์ เรียกโปรตีนชนิดนี้ว่า secretory protein

**2.2 Smooth endoplasmic reticulum (SER)** มีลักษณะคล้าย RER แต่ผิวจะเรียบ เนื่องจาก ไม่มี ribosome ติดที่ผิว หน้าที่หลักของ SER เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน เช่น โคเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ สเตียรอยด์ฮอร์โมน นอกจากนี้ SER ที่เซลล์กล้ามเนื้อลาย และเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ทำหน้าที่เก็บแคลเซี่ยมเพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ




รูปที่ 2-5 แสดง endoplasmic reticulum

**3. Ribosomes**

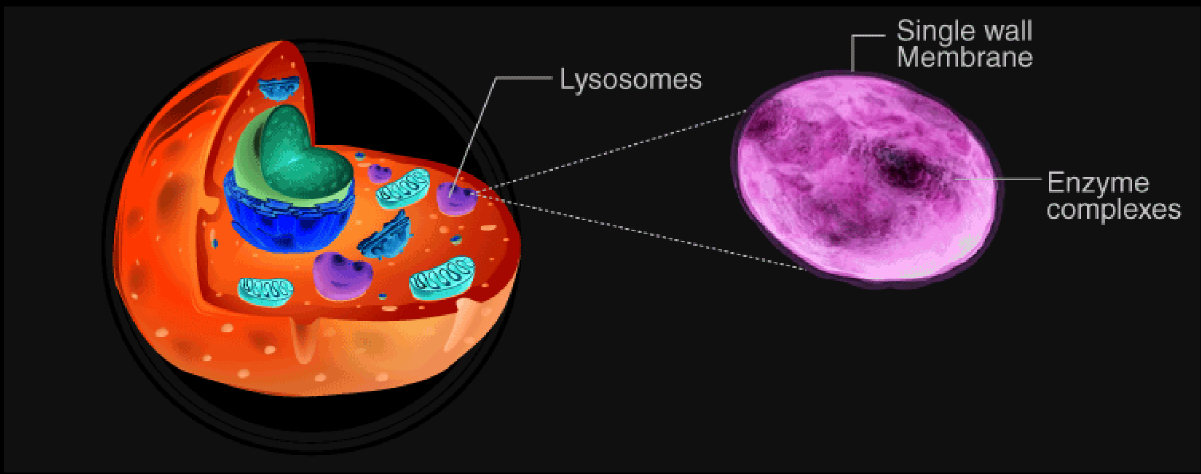
เป็นโครงสร้างรูปทรงกลมตัน ไม่มีเปลือกหุ้ม ประกอบด้วย rRNA และโปรตีนอยู่รวมกัน มีหน้าที่สร้างโปรตีน ribosome มี 2 ชนิด ชนิดแรก เรียกว่า **attached ribosome** เป็นชนิดที่พบเกาะอยู่ที่ผิวของ ER ทำหน้าที่สร้างโปรตีนเพื่อนำไปใช้นอกเซลล์ อีกชนิดเรียกว่า **free ribosome** เป็น ribosome ที่อยู่โดดเดี่ยวและกระจายอยู่ทั่วไปใน cytoplasm ทำหน้าที่สร้างโปรตีนสำหรับใช้ภายในเซลล์

**4. Golgi apparatus**

มีลักษณะเป็นแผ่นแบน หรือเป็นแท่ง มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว อยู่ใกล้นิวเคลียส ลักษณะเป็นแผ่นโค้งเว้าเข้าหานิวเคลียส หน้าที่ของ Golgi apparatus คือ การเติมองค์ประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรท หรือไขมันให้กับโปรตีนที่สร้างจาก RER และเป็นที่เก็บสะสมสิ่งที่เซลล์สร้างขึ้น โดยการเก็บไว้ในแกรนูล เพื่อส่งออกมาภายนอกเซลล์

**5. Lysosomes**

มีลักษณะเป็นทรงกลมมีเยื่อหุ้ม ขนาดต่างๆ กัน ภายในมีเอ็นไซม์ที่ใช้ในการย่อยหลายชนิด ที่สำคัญ คือ acid phosphatase ไลโซโซมต่างชนิดกัน จะมีชนิดและปริมาณเอ็นไซม์ต่างกัน แต่ก็ทำหน้าที่ย่อยสลายภายในเซลล์ โดยจะย่อยสารที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก และสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในเซลล์ รวมทั้งทำหน้าที่ทำลาย organelles ที่มีอายุ เสื่อมสภาพ หรือที่เซลล์ไม่ต้องการใช้แล้ว




รูปที่ 2-6 แสดงลักษณะของ Lysosomes

**6. Peroxisomes**

มีลักษณะเป็นถุง คล้ายไลโซโซม แต่มีขนาดเล็กกว่า ภายในมีเอ็นไซม์ที่ใช้ทำลายสารบางชนิด เช่น แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ peroxisomes พบมากในเซลล์ตับ

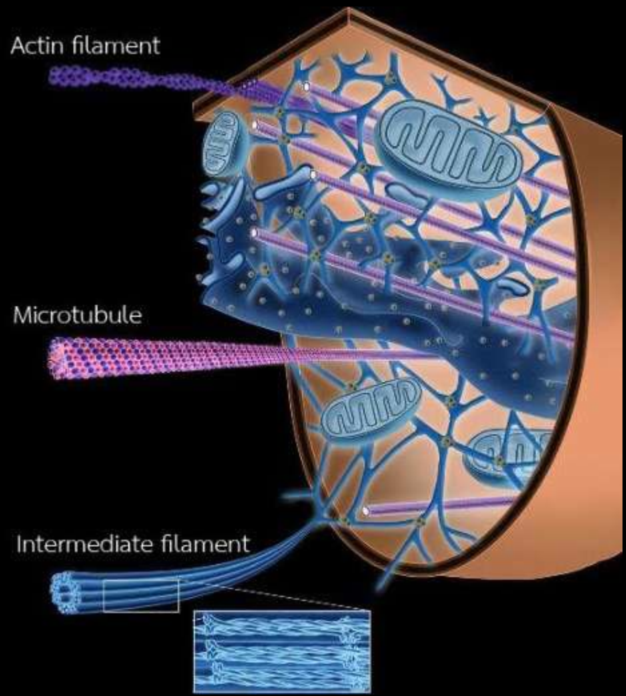
**โครงร่างของเซลล์ (Cytoskeletal)**

โครงร่างของเซลล์ ประกอบด้วยเส้นใยโปรตีน 3 ชนิด ได้แก่ Microfilaments, Microtubule และ Intermediate filament เส้นใยโปรตีนเหล่านี้ กระจายเป็นร่างแห อยู่ในไซโตพลาสซึม ทำให้เซลล์มีความแข็งแรงคงรูปอยู่ได้ หรือสามารถทำให้เซลล์เปลี่ยนรูปร่าง หรือเคลื่อนไหวได้ และยังทำหน้าที่ยึด organelles ต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์

**1. Microfilaments** เป็นโปรตีนเส้นใยเล็กๆ คล้ายเส้นด้าย ส่วนใหญ่พบประกอบด้วยโปรตีนแอกติน (actin) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการหดตัว ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเซลล์

**2. Microtubule** ที่มีลักษณะคล้ายท่อยาวทรงกระบอกขนาดเล็ก ขนาดใหญ่กว่า Microfilaments ทำหน้าที่ให้เซลล์คงรูปอยู่ได้ รวมทั้งเป็นโครงสร้างของ organelles บางชนิด เช่น centrioles และ cilia ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของสารบางอย่างในเซลล์

**3. Intermediate filament** เป็นเส้นใยโปรตีนขนาดกลาง ทำหน้าที่เป็นโครงร่างทำให้เซลล์มีความแข็งแรง เช่น neurofilament ในระบบประสาท นอกจากนี้ Intermediate filament ยังประกอบด้วยโปรตีน myosin ทำให้มีความสามารถในการหดตัวหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง




รูปที่ 2-7 แสดงโครงร่างของเซลล์ (Cytoskeleton)

## ตอนที่ 2
## การขนส่งผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane transport)

เซลล์ที่ยังมีชีวิตจะมีการขนส่งสารต่างๆ ผ่านเข้าและออกจากเซลล์ การขนส่งผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การขนส่งสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นการขนส่งที่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นสารจะต้องมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน

2. การขนส่งสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นการขนส่งที่ไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เพราะสารมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ จึงอาศัยการโอบล้อมสารนั้นเข้ามาสู่เซลล์แทน

**1. การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์** แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับการใช้พลังงาน ATP

**1.1 แบบไม่ใช้พลังงาน ATP (Passive transport)**

1) การแพร่ (Diffusion) มี 2 แบบคือ

=> การแพร่แบบธรรมดา (Simple diffusion)

=> การแพร่โดยอาศัยตัวพา (Facilitated diffusion)

2) ออสโมซิส (Osmosis)

3) ไดอะไลซิส (Dialysis)

**1.2 แบบใช้พลังงาน ATP (Active transport)**

1) กระบวนการแอ็คทีพทรานสปอร์ท (Active transport)

**2. การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์** (แบบนี้ใช้พลังงาน ATP ทุกกรณี) สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ

2.1 กระบวนการเอกโซไซโตซิส (Exocytosis)

2.2 กระบวนการเอนโดไซโตซิส (Endocytosis)

1) ฟาโกไซโทซิส (Phagocytosis)

2) พิโนไซโทซิส (Pinocytosis)

3) การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ (Receptor mediated endocytosis)

### การแพร่ (Diffusion)

การแพร่ (Diffusion) คือ การเคลื่อนที่ของอนุภาคสาร จากบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารต่ำ โดยอาศัยพลังงานจลน์ของสารเอง การแพร่มี 2 แบบ ดังนี้

**1. การแพร่แบบธรรมดา (Simple diffusion)** การเคลื่อนที่ของสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน เป็นการเคลื่อนที่สารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ หรือเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคสารจากบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารต่ำโดยอาศัยพลังงานจลน์ของสารเอง เพื่อให้มีการกระจายตัวของสารอย่างสม่ำเสมอ ณ บริเวณหนึ่งๆ

การแพร่สุทธิ (net flux) จะยุติลง เมื่อความเข้มข้นของสาร ณ สองบริเวณนั้นเท่ากัน อัตราการแพร่สุทธิของสารในสารละลาย สามารถคำนวณได้จากกฎของฟิกส์ (Fick’s law of diffusion)

$$J = - PA (C_1 - C_2)$$

เมื่อ J = อัตราการแพร่สุทธิของสารผ่านเยื่อเซลล์

A = พื้นที่เยื่อเซลล์ที่สารแพร่ผ่าน

$C_1$ และ $C_2$ = ความเข้มข้นในด้านที่ 1 และด้าน 2 ของเยื่อเซลล์

P = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเซลล์

ข้อสังเกต กฎของฟิกส์ มีเครื่องหมายเป็นลบ เพื่อแสดงว่า ความเข้มข้นของสาร ณ บริเวณที่มีความเข้มข้นสูง จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป

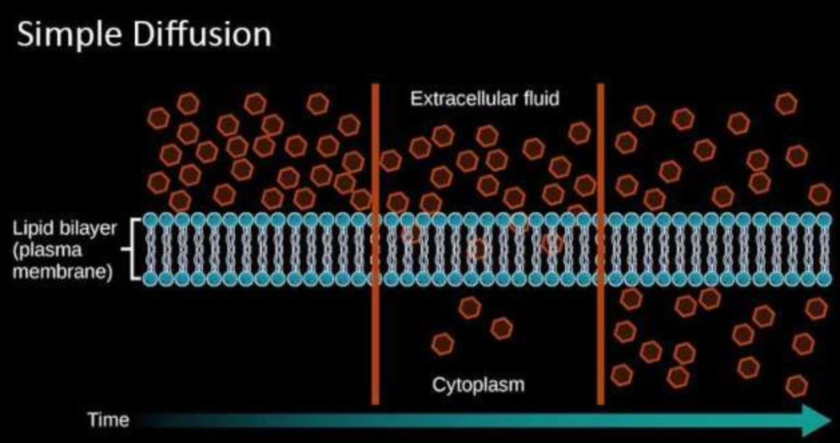
จากสมการข้างบน เมื่อ C1 เท่ากับ C2 อัตราการแพร่สุทธิ (J) จะเท่ากับ 0 นั่นคือ อัตราการแพร่ของสารจากด้านที่ 1 ไปยังด้านที่ 2 จะเท่ากับอัตราการแพร่จากด้านที่ 2 มายังด้านที่ 1 ทำให้ไม่มีการแพร่สุทธิของสารจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง เราเรียกสภาวะนี้ว่าอยู่ในภาวะสมดุล (equilibrium)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการแพร่สุทธิของสารต่างๆ ผ่านเยื่อเซลล์ชนิดใดชนิดหนึ่ง จะพบว่า อัตราการแพร่สุทธิของสาร ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของสาร และความแตกต่างของความเข้มข้นของสารระหว่าง 2 ด้านของเยื่อเซลล์ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาอีกด้วยว่าสารนั้นมีประจุไฟฟ้าด้วย เช่น โซเดียม อัตราการแพร่ยังขึ้นอยู่กับความแตกต่างของศักดิ์ไฟฟ้าข้ามเยื่อเซลล์อีกด้วย โดยทั่วไปภายในเซลล์จะมีศักดิ์ไฟฟ้าต่ำกว่าภายนอกเซลล์ (หรือเป็นลบ) ดังนั้น สำหรับโซเดียมจึงมีแรงดึงเนื่องจากศักดิ์ไฟฟ้าให้เข้ามาภายในเซลล์ นั่นคือ สารที่มีประจุไฟฟ้าจะต้องพิจารณาผลรวมของความแตกต่างทั้งในเชิงความเข้มข้นและเชิงศักดิ์ไฟฟ้า (electrochemical gradient) ข้ามเยื่อเซลล์

อีกประเด็นที่ต้องพิจารณาคือ เยื่อเซลล์เป็นไขมัน ดังนั้นอัตราการแพร่ของสารผ่านเยื่อเซลล์ จึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายในไขมัน สารที่ไม่มีประจุสามารถละลายในไขมันได้ดี จะมีอัตราการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์สูง ตรงข้ามกับสารที่มีประจุ จะละลายในมันได้น้อยหรือไม่ละลายเลย ทำให้มีอัตราการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ต่ำ นักวิทยาศาสตร์ ชื่อ Overton ได้สรุปความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ ความสามารถในการละลายในไขมัน และขนาดของสารไว้ ดังนี้

1. ความสามารถในการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ของสารที่มีขนาดเล็ก และไม่มีขั้ว จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสามารถในการละลายของไขมันนั้น

2. ความสามารถในการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ของสารที่มีขั้ว จะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารนั้น




รูปที่ 2-8 แสดง Simple diffusion

**2. การแพร่แบบฟาซิลิเทต หรือแบบเร่งรัด (Facilitated diffusion)**

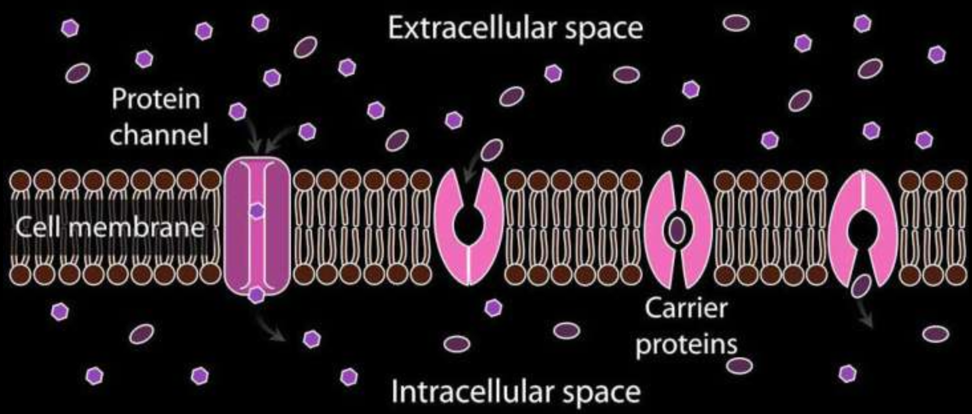
เป็นการเคลื่อนที่ของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ จากด้านที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูงกว่าไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้อยกว่า โดยไม่ใช้พลังงานเช่นเดียวกับการแพร่แบบธรรมดา แต่ใช้**โปรตีนตัวพา (carrier)** และมีข้อแตกต่างจากการแพร่แบบธรรมดา ดังนี้

1. มีอัตราการแพร่เร็วกว่าการแพร่แบบธรรมดาหลายเท่าตัว

2. อัตราการแพร่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร แต่มีจุดอิ่มตัว (saturation) ซึ่งเมื่อถึงจุดอิ่มตัวไม่ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารมากเพียงใด อัตราการแพร่ก็พบว่าไม่เพิ่มขึ้นตาม เพราะเชื่อว่าโปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวพาได้ถูกใช้จนหมดแล้ว อัตราการแพร่จึงไม่เพิ่มขึ้น

3. เป็นกระบวนการที่มีความจำเพาะต่อโครงสร้างของสารแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น เช่น น้ำตาล D - Glucose เท่านั้นที่มีการแพร่แบบเร่งรัด ส่วนน้ำตาล L - Glucose ไม่มีการแพร่แบบเร่งรัด

4. อัตราการแพร่สามารถถูกยับยั้งแบบแก่งแย่ง (Competitive inhibition) ได้โดยสารที่มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน เช่น น้ำตาล D - Glucose จะถูกยับยั้งแบบแก่งแย่งโดย น้ำตาล D – Galactose




รูปที่ 2-9 แสดงวิธีการแพร่แบบเร่งรัด (facilitated diffusion)

**ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่**

1. สถานะของสาร โดยแก๊สมีพลังงานจลน์สูงสุด จึงมีอัตราการแพร่สูงสุด

2. สถานะของตัวกลางที่สารจะแพร่ผ่าน โดยตัวกลางที่เป็นแก๊สจะมีแรงต้านน้อยที่สุดจึงทำให้มีอัตราการแพร่สูงที่สุด

3. ขนาดอนุภาคของสาร โดยอนุภาคยิ่งเล็กยิ่งมีอัตราการแพร่สูง

4. ระยะทางที่สารจะแพร่ในหนึ่งหน่วยเวลา

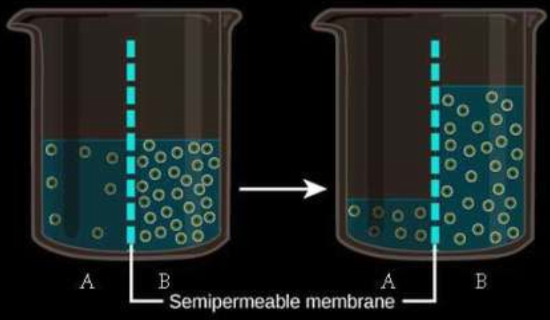
5. อุณหภูมิ โดยจะมีผลต่อการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับสารทำให้มีอัตราการแพร่เพิ่มสูงขึ้น

6. ความดัน เมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นจะเพิ่มความหนาแน่นให้กับสาร ส่งผลให้มีอัตราการแพร่เพิ่มสูงขึ้น

7. ความแตกต่างของความเข้มข้นสารระหว่าง 2 บริเวณ

## ออสโมซิส หรือ การแพร่ของน้ำผ่านเยื่อเซลล์ (Osmosis)

ออสโมซิส คือ**การเคลื่อนที่ของน้ำ**แพร่ผ่านเยื่อเซลล์จากบริเวณที่มีปริมาณอนุภาคน้ำมาก ไปสู่บริเวณที่มีปริมาณอนุภาคน้ำน้อยกว่า หรือการแพร่ของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่าน จากสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อย ไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า




รูปที่ 2-10 แสดงออสโมซิส

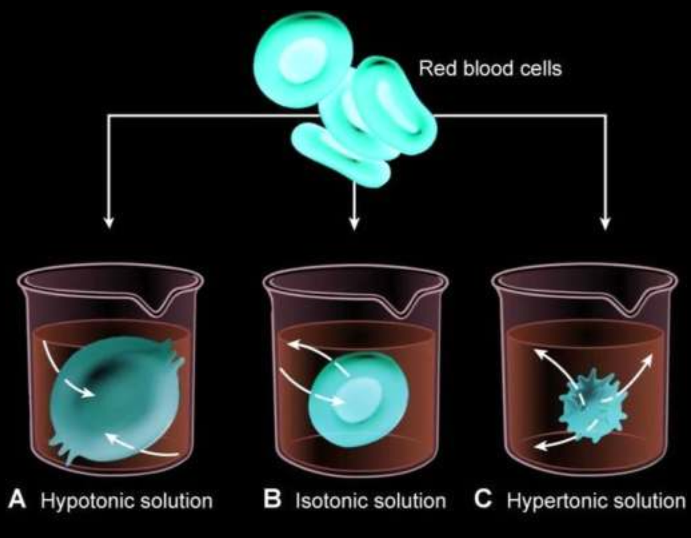
สารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกันจะมีผลต่อเซลล์แตกต่างกันด้วย จึงทำให้แบ่งสารละลายที่อยู่นอกเซลล์ออกได้เป็น 3 ชนิด ตามการเปลี่ยนขนาดของเซลล์ เมื่ออยู่ภายในสารละลายนั้น คือ

**1. สารละลายไอโซโทนิก (isotonic solution)** หมายถึง สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากับสารละลายภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของเซลล์เมื่ออยู่ในสารละลายชนิดต่างๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

**2. สารละลายไฮโปโทนิก (hypotonic solution)** หมายถึง สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าสาร ละลายภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของเซลล์เมื่ออยู่ในสารละลายชนิดต่างๆ น้ำจะออสโมซิสเข้าสู่เซลล์ ทำให้**เซลล์เต่ง, เซลล์พอง, เซลล์แตก**

**3. สารละลายไฮเปอร์โทนิก (hypertonic solution)** หมายถึง สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าสารละลายภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของเซลล์เมื่ออยู่ในสารละลายชนิดต่างๆ น้ำจะออสโมซิสออกจากเซลล์ ทำให้**เซลล์หด, เซลล์เหี่ยว**

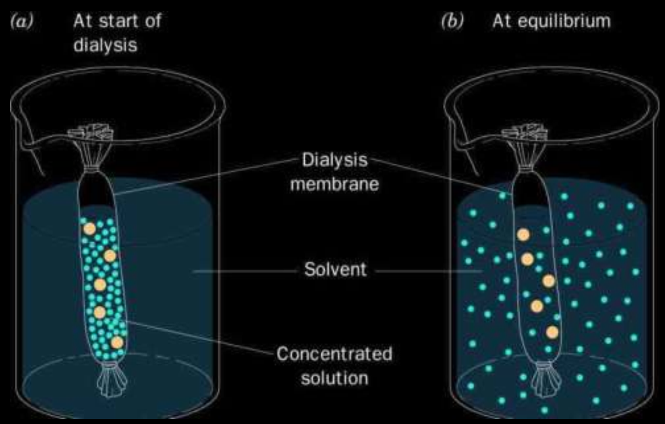
ดังนั้นในการให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ จึงต้องพึงระวังผลของออสโมซิสที่มีต่อเม็ดเลือด




รูปที่ 2-11 แสดงความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ที่มีต่อเม็ดเลือดแดง

## ไดอะไลซิส (Dialysis)

เป็นการแพร่ของตัวถูกละลายผ่านเยื่อ จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารมากไป ยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารน้อย (สารมากไปสารน้อยเหมือนการแพร่ และต้องผ่านเยื่อเลือกผ่านเหมือนการออสโมซิส)




รูปที่ 2-12 รูปแสดงการไดอะไลซิส (สารมากไปสารน้อยแต่ต้องผ่านเยื่อบางๆ)

จากที่กล่าวมาข้างต้น ไม่ว่าจะเป็นการแพร่แบบธรรมดา การแพร่แบบเร่งรัด และไดอะไลซิส เป็นการขนส่งจากด้านที่มีความเข้มข้นสูงไปยังด้านที่มีความเข้มข้นต่ำเสมอ จนความเข้มข้นสองด้านอยู่ในภาวะสมดุล โดยไม่อาศัยพลังงานจากแหล่งใด

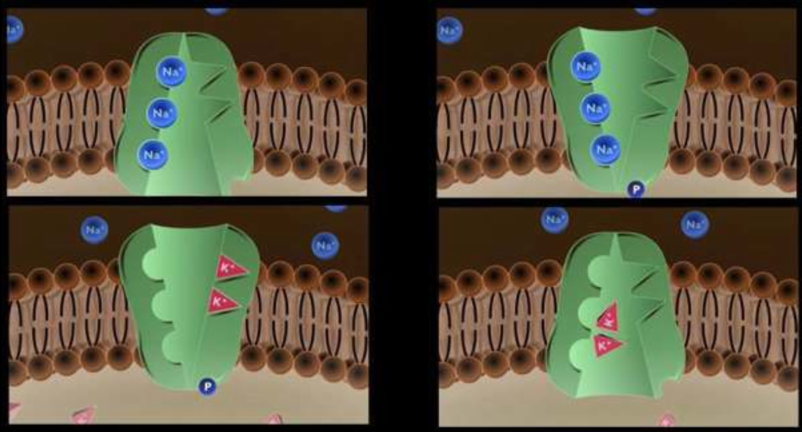
## การขนส่งแบบใช้พลังงาน (Active transport)

ในธรรมชาติสารบางชนิดมีการขนส่งผ่านเยื่อเซลล์ต้านความลาดเชิงความเข้มข้น ระหว่างเยื่อเซลล์ หรือต้านความลาดเชิงความเข้มข้นและเชิงไฟฟ้า การขนส่งแบบนี้ต้องใช้ ATP การขนส่งจะเกิดขึ้นตราบใดที่ยังมีพลังงาน และจะลดลงเมื่อพลังงานจากเมตาบิลิซึมของเซลล์ลดลง เราเรียกการขนส่งชนิดนี้ว่า การขนส่งแบบใช้พลังงาน (active transport) ซึ่งสรุปคุณสมบัติได้ดังนี้

1. สามารถขนส่ง จากด้านที่มีความเข้มข้นน้อยไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นมากกว่า (ต้านความลาดเชิงความเข้มข้น หรือต้านความลาดเชิงศักย์ไฟฟ้า)
2. มีจุดอิ่มตัวของอัตราการขนส่ง
3. มีความจำเพาะ ในการขนส่งสารบางชนิด และมีการยับยั้งแบบแก่งแย่ง (competitive inhibition) โดยสารที่มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกัน
4. ถูกยับยั้งได้โดยสารเคมี หรือกระบวนการที่ไปหยุดการสร้างพลังงานจากเมตาบอลิซึมของเซลล์

**การขนส่งแบบใช้พลังงานมี 2 ชนิด คือ**

**1. การขนส่งแบบใช้พลังงานปฐมภูมิ (Primary active transport)** พลังงานจากเมตาบอลิซึมที่เซลล์สามารถนำไปใช้อยู่ในรูปของ ATP ตัวอย่างการขนส่งชนิดนี้ คือ $Na^{+}/K^{+}$ ATPase pump (โซเดียม/โพแทสเซียม เอทีพีเอส) หรือเรียกกันย่อ ๆ ว่า โซเดียม/โพแทสเซียมปั๊ม ซึ่งพบได้ในเกือบทุกเซลล์ เพื่อปั๊มโซเดียมออก ในขณะเดียวกันปั๊มโพแทสเซียมเข้าเซลล์ ในอัตราการแลกเปลี่ยนโซเดียม 3 ไอออน ต่อโพแทสเซียม 2 ไอออน กระบวนการนี้มีความสำคัญในการรักษาสภาวะภายในเซลล์ให้มีความเข้มข้นของโซเดียมต่ำ แต่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงกว่าภายนอกหลายเท่าตัว

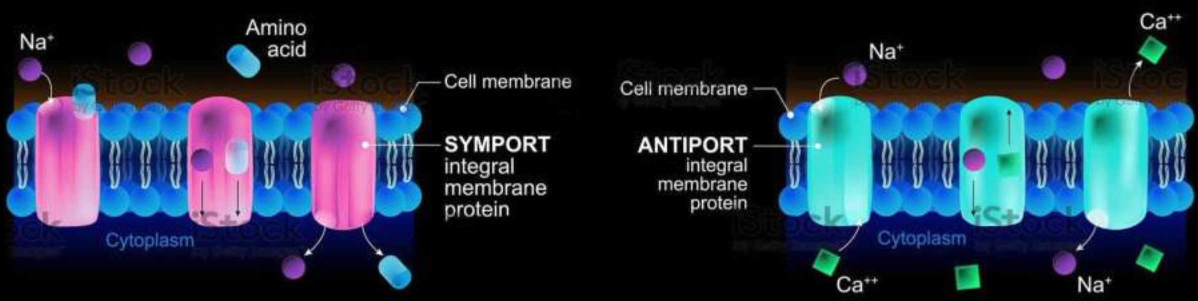


รูปที่ 2-13 แสดงการทำงานของ $Na^{+}/K^{+}$ ATPase pump โดยนำโซเดียม ($Na^{+}$) จำนวน 2 โมเลกุล จากภายในออกไปนอกเซลล์ ในขณะเดียวกันนำโปตัสเซียม ($K^{+}$) จากนอกเซลล์เข้ามาภายในเซลล์

ในปัจจุบัน มีการอธิบายว่า ATP ในไซโตพลาสซึม จับกับโปรตีนที่เป็นตัวพาในเยื่อเซลล์ แล้วถ่ายทอดกลุ่มฟอสเฟตให้ตัวพา ซึ่งจะจับกับโซเดียมไอออน และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวพา หันด้านที่จับกับโซเดียมออกสู่ด้านนอกเซลล์แล้วปลดปล่อยโซเดียมออก ต่อมาตัวพาจะปลดปล่อยฟอสเฟตออก ซึ่งปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับการจับ โพแทสเซียมด้านนอกเซลล์ เมื่อจับกับโพแทสเซียมแล้วจะมีการเปลี่ยนรูปร่างอีกครั้ง ทำให้ด้านที่จับกับโปตัสเซียมหันกลับเข้าสู่ด้านใน แล้วปลดปล่อยโปตัสเซียมเป็นอิสระในไซโตพลาสซึม รูปร่างของตัวพาจะกลับมาสู่สภาพเดิม ปฏิกิริยาเกิดเป็นวงจรสลับกันไปมาแบบนี้ ตราบใดที่ยังมีพลังงานจาก ATP

**2. การขนส่งแบบใช้พลังงานทุติยภูมิ (Secondary active transport)** พลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้ไม่ใช้ ATP กลไกการขนส่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งที่ควบคู่กับการขนส่งโซเดียม โดยตัวพามีตำแหน่งเฉพาะ 2 ตำแหน่ง ที่จะจับกับโซเดียมไอออน และสารที่จะขนส่ง การจับกับโซเดียมไอออนภายนอกเซลล์จะเสริมให้มีการจับสารที่จะขนส่งเกิดขึ้นได้ง่าย ถึงแม้จะมีความเข้มข้นภายนอกเซลล์ต่ำ เมื่อตัวพาจับกับโซเดียมและสารที่จะขนส่งแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวพา ทำให้หันส่วนที่จับกับสารทั้งสองเข้าสู่ด้านในเซลล์ เนื่องจากความเข้มข้นโซเดียมไอออนภายในเซลล์ต่ำ โซเดียมจึงหลุดออกจากตัวพา ความสามารถในการจับสารที่จะขนส่งก็ลดลงด้วย ตัวพาจึงปลดปล่อยสารดังกล่าวเป็นอิสระภายในเซลล์ หลังจากนั้นตัวพาปรับเปลี่ยนรูปร่างใหม่ โดยหันตำแหน่งที่จะจับกับโซเดียม และสารที่จะขนส่งออกสู่ด้านนอกเซลล์เช่นเดิม

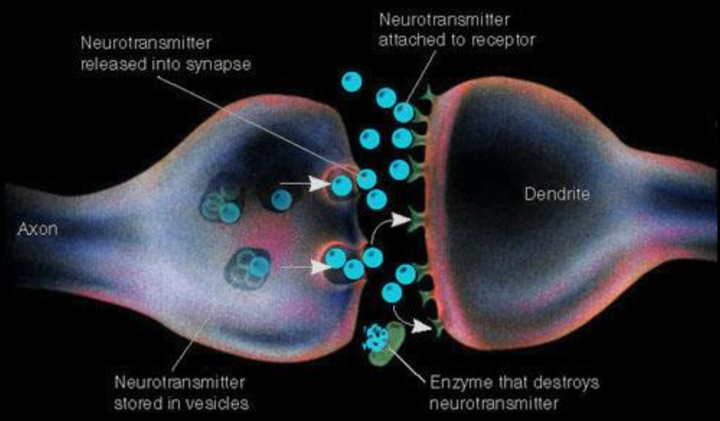
กระบวนการที่สารขนส่งอยู่ด้านเดียวกับโซเดียม จะทำให้การขนส่งสารกับการขนส่งโซเดียมเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกัน เรียกว่า **co – transport (symporter)** แต่ในกรณีสารที่ขนส่งอยู่คนละด้านกับโซเดียม ทำให้การขนส่งสารกับการขนส่งโซเดียมเกิดในทิศทางตรงข้าม เรียกว่า **antiport**




รูปที่ 2-14 แสดง symport และ antiport (ที่มา : https://www.istockphoto.com/)

### การลำเลียงสารออกนอกเซลล์ (Exocytosis)

เป็นการลำเลียงสารออกนอกเซลล์ สารพวกนี้มีขนาดใหญ่ไม่สามารถทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ดังนั้น ต้องอาศัยส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ช่วยนำสารออกจากเซลล์ เช่น การลำเลียงฮอร์โมน สารสื่อประสาท เอนไซม์ และแอนติบอดี เป็นต้น




รูปที่ 2-12 แสดง exocytosis ของสารสื่อประสาท ที่ปลายประสาท

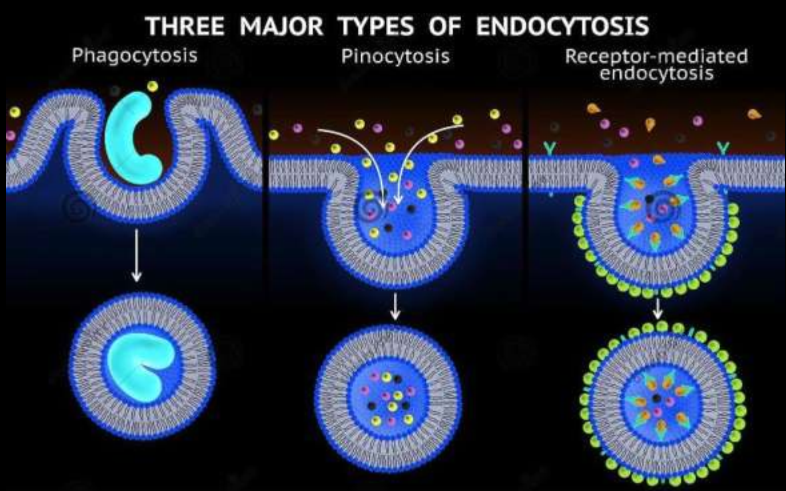
### การลำเลียงสารเข้าในเซลล์ (Endocytosis)

มีวิธีสำคัญ คือ

**1. Phagocytosis** เป็นวิธีการนำสารที่เป็น**ของแข็ง**เข้าสู่เซลล์ เช่น เซลล์แบคทีเรีย เรียกวิธีการแบบนี้ว่า cell eating โดยส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์จะยื่นออกไปทำให้มีลักษณะคล้ายเท้าเทียมเรียก Pseudopodium โอบล้อมสารเข้าภายในเซลล์ โดยอาศัยพลังงาน ATP

**2. Pinocytosis** เป็นวิธีการนำ**ของเหลว**เข้าสู่เซลล์หรือที่เรียกว่า cell drinking โดยส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์จะมีการเว้าเข้ามาในไซโทพลาสซึม แล้วสารจะหลุดเข้ามา โดยอาศัยพลังงาน ATP

**3. Receptor mediated endocytosis** (การนำสารเข้าในเซลล์ โดยอาศัยตัวรับ) เป็นการนำสารอินทรีย์ เช่น Ferritin, Cholesterol, Lipoprotein, Antigen เข้าสู่เซลล์ โดยอาศัย**ตัวรับ**ที่มีความจำเพาะ จับกับสารได้อย่างเหมาะสม โดยตัวรับจำเพาะจะอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์




รูปที่ 2-13 แสดงการลำเลียงสารเข้าในเซลล์ (Endocytosis)

## ตอนที่ 3
## สิ่งแวดล้อมของเซลล์ (Cell Environment)

รอบๆ เซลล์มีสารน้ำที่เรียกว่า น้ำนอกเซลล์ หรือ extracellular fluid สารน้ำนี้อยู่รอบๆ เซลล์และเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ เพื่อทำความเข้าใจเรื่องสิ่งแวดล้อมเซลล์ จึงควรทราบเกี่ยวกับสารน้ำในร่างกาย พอสังเขป

**สารน้ำในร่างกาย (Body fluid)**

ในภาวะปกติร่างกายประกอบด้วยน้ำ โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 60 ของน้ำหนักตัว (Total body water, TBW) น้ำที่อยู่ในร่างกายทั้งหมด แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

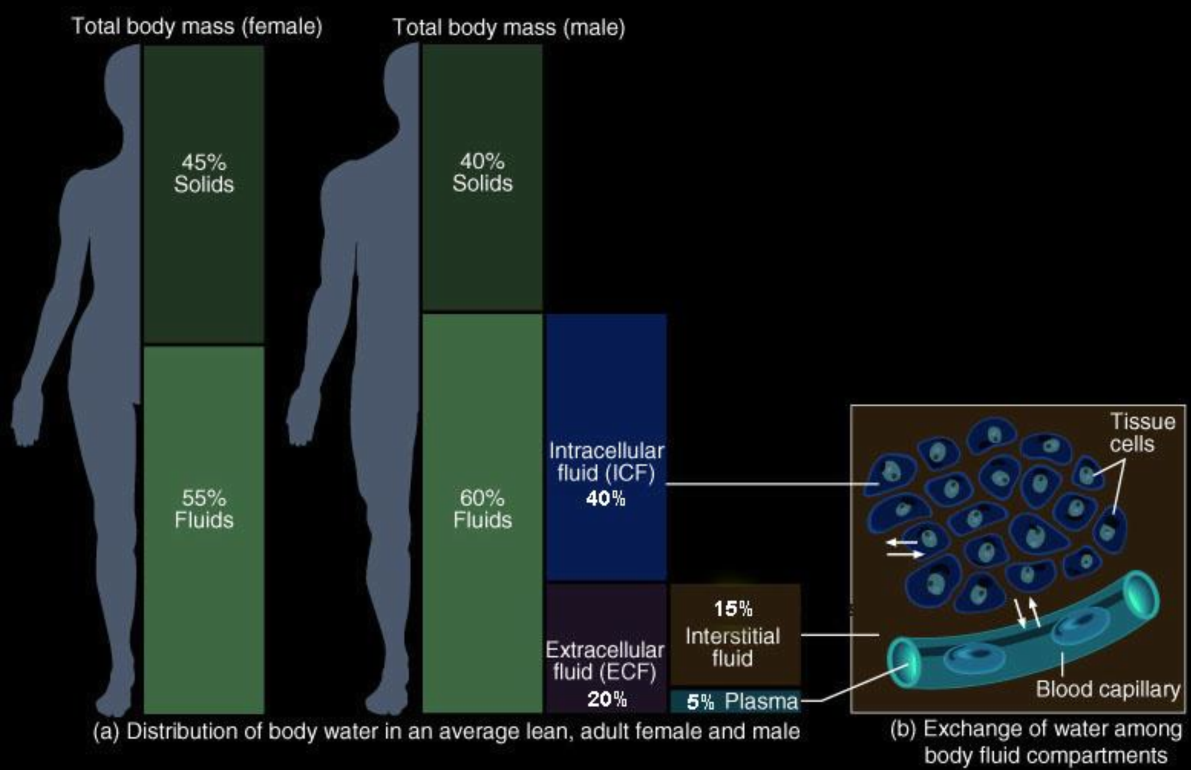
**1. น้ำภายในเซลล์ (Intracellular fluid, ICF)** มีประมาณ 2/3 ส่วนของน้ำที่มีอยู่ในร่างกายทั้งหมด หรือประมาณ 40% ของน้ำหนักตัว

**2. น้ำภายนอกเซลล์ (Extracellular fluid, ECF)** มีประมาณ 1/3 ส่วนของน้ำที่มีอยู่ในร่างกายทั้งหมด หรือประมาณ 20% ของน้ำหนักตัว น้ำภายนอกเซลล์ ได้แก่

**2.1 พลาสมา (Plasma)** ประมาณ 5% ของน้ำหนักตัว

**2.2 น้ำที่อยู่ระหว่างเซลล์ (Interstitial fluid)** ประมาณ 15% ของน้ำหนักตัว

สารน้ำในร่างกาย ประกอบด้วย น้ำ และสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ ได้แก่ อิเล็กโทรไลต์ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอาหารต่างๆ สารน้ำภายในเซลล์และภายนอกเซลล์แยกจากกันด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ และทั้ง 2 นี้ อยู่ในดุลของความดันออสโมติก โดยมีน้ำเป็นตัวผ่านเข้าออก




รูปที่ 2-14 แสดงการกระจายตัวของน้ำในร่างกาย

**ส่วนประกอบของสารน้ำภายในเซลล์และภายนอกเซลล์**

สารน้ำแต่ละส่วนมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาดูส่วนประกอบของสารน้ำภายนอกเซลล์ ซึ่งได้แก่ พลาสมา และน้ำที่อยู่ระหว่างเซลล์ พบว่า ชนิดและปริมาณของอิออนที่อยู่ในพลาสมา และน้ำที่อยู่ระหว่างเซลล์ ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ในพลาสมามีโปรตีนมากกว่า เนื่องจากผนังของหลอดเลือดฝอย ไม่ยอมให้โปรตีนผ่านเข้าออกได้ แต่ยอมให้อิเล็กโตรลัยต์ ผ่านเข้าออกได้อย่างอิสระ

สำหรับเยื่อเซลล์นั้นยอมให้อิเล็กโตรลัยต์ ผ่านเข้าออกได้ไม่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างส่วนประกอบของสารน้ำภายในเซลล์และสารน้ำภายนอกเซลล์ พบว่าโซเดียมและคลอไรด์ส่วนใหญ่อยู่นอกเซลล์ และภายในเซลล์มีโปตัสเซียมมากกว่า

**สิ่งแวดล้อมของเซลล์**

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าภายในเซลล์ทุกเซลล์มีสารน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก และรอบๆ เซลล์ก็มีน้ำอยู่รอบ ดังนั้น สิ่งแวดล้อมทั้งภายนอกและภายในเซลล์ ก็คือสารน้ำ ซึ่งประกอบด้วยน้ำ และสิ่งที่ละลายอยู่ในน้ำนั่นเอง สิ่งแวดล้อมของเซลล์จึงประกอบด้วย น้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และอิเล็กโตรลัยต์ ซึ่งจะต้องมีอุณหภูมิและ pH ที่พอเหมาะ

**น้ำ**

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของสิ่งแวดล้อม ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ น้ำมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

1. ทำให้สิ่งแวดล้อมเซลล์มีอุณหภูมิคงที่ เนื่องจากน้ำเป็นตัวนำความร้อนที่ดี สามารถรับหรือสูญเสียความร้อนได้มาก
2. น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี สามารถละลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้
3. น้ำเป็นตัวกลางทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ ภายในเซลล์
4. น้ำเป็นตัวหล่อลื่นที่มีประสิทธิภาพ เช่น ของเหลวที่อยู่ระหว่างข้อต่อ ช่วยป้องกันความฝืดที่เกิดขึ้นระหว่างเคลื่อนไหว

ร่างกายประกอบด้วยน้ำประมาณ 60% ของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำในร่างกายของแต่ละคนไม่เท่ากัน ขึ้นกับอายุและปริมาณไขมันที่สะสมไว้ในร่างกาย จำนวนน้ำในร่างกายจะลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น เด็กแรกเกิดจะมีปริมาณน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว คนที่มีไขมันมากจะมีอัตราส่วนของน้ำในร่างกายน้อยกว่าคนผอม ผู้ชายมีน้ำเป็นส่วนประกอบของร่างกายประมาณร้อยละ 65 ของน้ำหนักตัว ในขณะที่ผู้หญิงมีน้ำเป็นส่วนประกอบโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 55 ของน้ำหนักตัว เนื่องจากผู้หญิงมีไขมันใต้ผิวหนังมากกว่าผู้ชาย

น้ำในร่างกายส่วนใหญ่ได้จากน้ำและอาหารที่รับประทานเข้าไป ประมาณวันละ 2-3 ลิตร น้ำบางส่วนได้มาจากกระบวนการเผาผลาญในร่างกาย ประมาณวันละ 200 มล. น้ำในร่างกายจะถูกขับออกโดยไตเป็นปัสสาวะประมาณวันละ 1.5 ลิตร น้ำบางส่วนระเหยทางผิวหนัง ประมาณวันละ 500 มล. ทางปอดประมาณวันละ 300 มล. และขับถ่ายออกทางอุจจาระ ประมาณวันละ 200 มล. ในสภาวะปกติร่างกายได้รับน้ำจากภายนอกและขับถ่ายออกจากร่างกายสมดุลกัน

**ออกซิเจน**

ออกซิเจนมีความสำคัญสำหรับการทำงานต่างๆ ภายในเซลล์ สัตว์ชั้นสูงได้รับออกซิเจนจากบรรยากาศโดยการหายใจเข้าไป ออกซิเจนจากถุงลมปอดจะแพร่กระจายเข้าสู่กระแสเลือด ไปยังเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสร้างพลังงาน

**คาร์บอนไดออกไซด์**

คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นของเสียที่ถูกขจัดออกจากเซลล์สู่สิ่งแวดล้อมภายนอก คาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน เมื่อละลายน้ำแล้วได้เป็นกรด คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำในร่างกายจะทำหน้าที่เป็น buffer ช่วยรักษาดุลกรด-ด่าง ของร่างกาย

**อิเล็กโตรลัยต์**

อิเล็กโตรลัยต์เป็นสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำแล้วสามารถแตกตัวเป็นอิออน อิออนนี้เป็นแร่ธาตุที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นมาเองได้ ต้องได้รับจากสารอาหาร อิออนที่สำคัญ คือ $Na^+$, $K^+$ และ $Cl^-$ ซึ่งมีความสำคัญต่อร่างกายหลายประการ ได้แก่

1. $K^+$ เป็นตัวรักษา osmolarity ของไซโตพลาสซึมในเซลล์ ส่วน $Na^+$ และ $Cl^-$ เป็นตัวกำหนด osmolarity ของสารน้ำในร่างกาย

2. ส่วนประกอบของอิออนต่างๆ มีความสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา เช่น การหลั่งสารสื่อประสาท การเกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน การหดตัวของกล้ามเนื้อ การรักษาความเป็นกรด-ด่างของร่างกาย การลำเลียงขนส่งออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

3. เป็น Co-factor ของเอ็นไซม์ในปฏิกิริยาทางเคมีบางอย่างในร่างกาย

ถ้าความเข้มข้นของอิออนต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อการทำงานของเซลล์ เป็นต้นว่า ถ้ามี $K^+$ลดลง จะทำให้เกอดอัมพาตของกล้ามเนื้อ ในทางกลับกัน ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้หัวใจเต้นผิดปกติ

**อุณหภูมิ**

สิ่งแวดล้อมเซลล์จะต้องมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเซลล์ อุณหภูมิของสารน้ำที่อยู่รอบเซลล์จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิของร่างกาย ปกติอุณหภูมิของเซลล์ในส่วนต่างๆ ของร่างกายจะใกล้เคียงกัน เนื่องจากร่างกายมีระบบไหลเวียนช่วยนำและพาความร้อนกระจายไปทั่วร่างกาย ความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายส่วนใหญ่เป็นผลจากปฏิกริยาทางเคมีภายในเซลล์ ซึ่งความร้อนนี้จะถูกกำจัดออกไปจากร่างกาย เพื่อให้เกิดความสมดุล ระหว่างการผลิตความร้อนและการสูญเสียความร้อนทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ที่ประมาณ 37°C โดยมีศูนย์กลางควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่สมองส่วนไฮโปทาลามัส

อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเซลล์มีผลต่ออัตราการเกิดเมตาบอลิซึมในเซลล์ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น จะเพิ่มอัตราเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ และถ้าอุณหภูมิลดลง อัตราเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ก็จะลดลงเช่นเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 42-43°C เซลล์จะผลิตความร้อนออกมามาก จนระบบการควบคุมอุณหภูมิ ไม่สามารถปรับอุณหภูมิให้กลับเข้าสู่ปกติได้ และถ้าอุณหภูมิสูงถึง 44-45°C จะทำให้ถึงแก่ความตายได้ ส่วนในกรณีที่อุณหภูมิของร่างกายต่ำกว่าปกติมาก จนต่ำกว่า 33 °C จะทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีภายในเซลล์ลดลงอย่างมาก และทำให้ถึงแก่ความตายได้ถ้าอุณหภูมิลดลงถึง 24°C

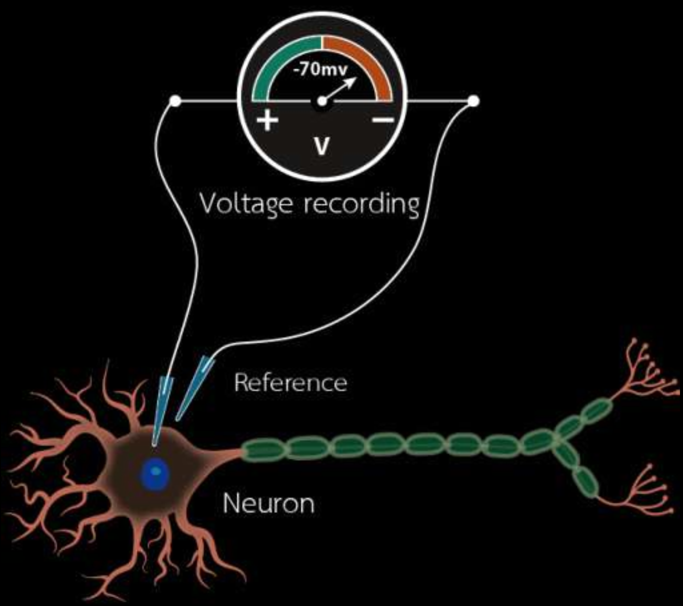
**pH ของสิ่งแวดล้อมเซลล์**

pH ของสารน้ำที่อยู่รอบเซลล์มีค่าประมาณ 7.35-7.45 ถ้า pH มีค่าสูงหรือน้อยกว่านี้ อาจเกิดอันตรายได้ เนื่องจากความเข้มข้นของไฮโดรเจน จะมีผลต่อความคงตัวของผนังเซลล์ ทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนไป ถ้า pH ของพลาสมาต่ำกว่า 7.35 จะเกิดภาวะกรด (acidosis) และถ้า pH มากกว่า 7.45 จะเกิดภาวะด่าง (alkalosis) ภาวะกรดและด่างในร่างกายมีผลเสียต่อทุกระบบในร่างกายโดยเฉพาะระบบประสาทและระบบไหลเวียน ถ้าร่างกายภาวะกรดอย่างรุนแรง จะถึงแก่ความตายได้ เนื่องจากเซลล์ประสาทไม่สามารถทำงานได้ จนเกิดอาการโคม่า เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจก็ไม่มีประสิทธิภาพในการทำงาน ทำให้หัวใจเต้นไม่สม่ำเสมอ และการบีบตัวลดลง

## ตอนที่ 4
## ศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ (Membrane potential)

ในช่วงกลางศตวรรษที่ 20 วิทยาการต่างๆ ได้พัฒนาอย่างรวดเร็ว ความก้าวหน้าที่สำคัญในการศึกษาทางสรีรวิทยาของเซลล์ คือ การที่นักวิทยาศาสตร์สามารถวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ได้ โดยการใช้ pipette ขนาดเล็กที่ทำด้วยแก้วเป็นอิเลคโทรด จากการศึกษาดังกล่าวพบว่ามีความแตกต่างศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์ระหว่างภายนอกและภายในเซลล์ในขณะพักมีค่าประมาณ -60 ถึง -70 มิลลิโวลท์ (mV) ทั้งนี้โดยถือว่าศักย์ไฟฟ้าภายนอกเซลล์เป็นศูนย์

เราเรียกความต่างศักย์นี้ว่า ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ (Membrane potential) และเรียกศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ขณะที่เซลล์อยู่ในภาวะพัก (ยังไม่ถูกกระตุ้น) ว่า Resting membrane potential




รูปที่ 2-15 แสดงการวัดศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

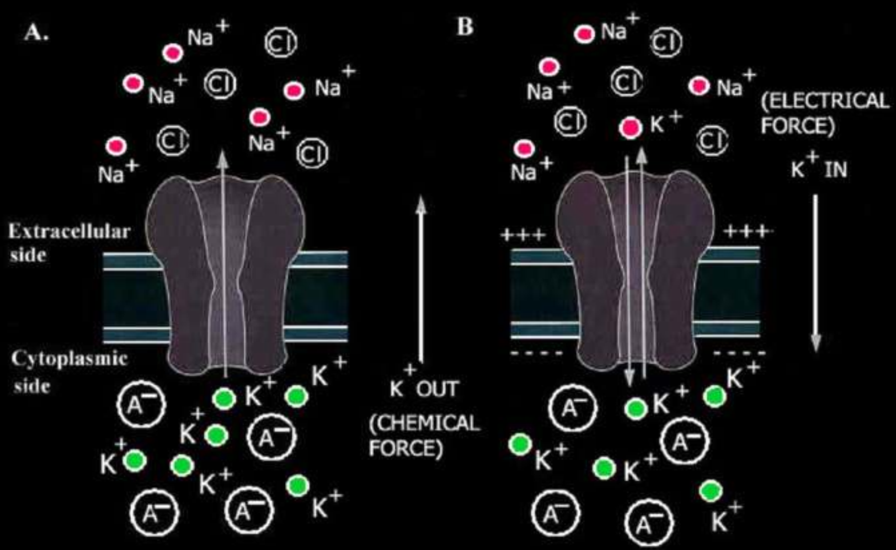
ศักย์ไฟฟ้านี้เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของประจุไฟฟ้าที่อยู่ด้านในและด้านนอกของผนังเซลล์ อันเป็นผลจากการเคลื่อนผ่านผนังเซลล์ของอณูที่มีประจุบางชนิดโดยเฉพาะ $K^+$ เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์นี้เป็นผลจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในการเคลื่อนที่ของอณูที่มีประจุไฟฟ้า(ทั้งประจุบวกและประจุลบ) ย่อมทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้านี้เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เราเรียก ภาวะที่การลดลงของความต่างศักย์ไฟฟ้า (เป็นลบน้อยลงหรือเป็นบวกมากขึ้น) ว่า Depolarization และภาวะที่มีการเพิ่มขึ้นของความต่างศักย์ไฟฟ้าว่า Hyperpolarization (เป็นลบมากขึ้น)

ในระยะที่เริ่มต้นของการศึกษาได้ใช้เซลล์ประสาทของปลาหมึกยักษ์ จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าใน ไซโตพลาสซึม มีไอออนที่มีประจุบวกรวมกันมากกว่าประจุลบ ซึ่งความจริงแล้วในไซโตพลาสซึมมีสารประจุบวกเท่ากับประจุลบ แต่มิได้แสดงไว้ สารที่มีประจุลบ ได้แก่ โปรตีน สารประกอบฟอสเฟตต่างๆ เช่น ATP และ creatine phosphate สารเหล่านี้ไม่สามารถแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ได้ แต่มีบทบาทสำคัญในการเกิดศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์

ตารางที่ 2-1 แสดงความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ของเซลล์ประสาทปลาหมึกยักษ์ (Squid giant axon)

| Ion | Intracellular (mM) | Extracellular (mM) |
|---|---|---|
| $K^+$ | 400 | 20 |
| $Na^+$ | 50 | 440 |
| $Cl^-$ | 52 | 560 |

จากความแตกต่างของความเข้มข้นทางเคมี (chemical gradient) ทำให้ในภาวะปกติ จะมีการรั่วของ $K^+$ ผ่านช่องทางไอออนบนผนังเซลล์ที่เปิดอยู่ออกสู่ภายนอกเซลล์ ในขณะที่เซลล์เสีย $K^+$ ซึ่งเป็นประจุบวก (cation) สารเคมีที่มีประจุลบ (anion) ภายในเซลล์ที่สำคัญ คือ โปรตีนและกรดอินทรีย์ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกมานอกเซลล์ได้ เนื่องจากมีขนาดใหญ่ จะถูกแรงทางไฟฟ้าดึงให้เคลื่อนที่มายังด้านในของผนังเซลล์ การสูญเสีย $K^+$ ออกจากเซลล์ ส่งผลให้ด้านในของผนังเซลล์มีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นลบเมื่อเทียบกับภายนอกเซลล์

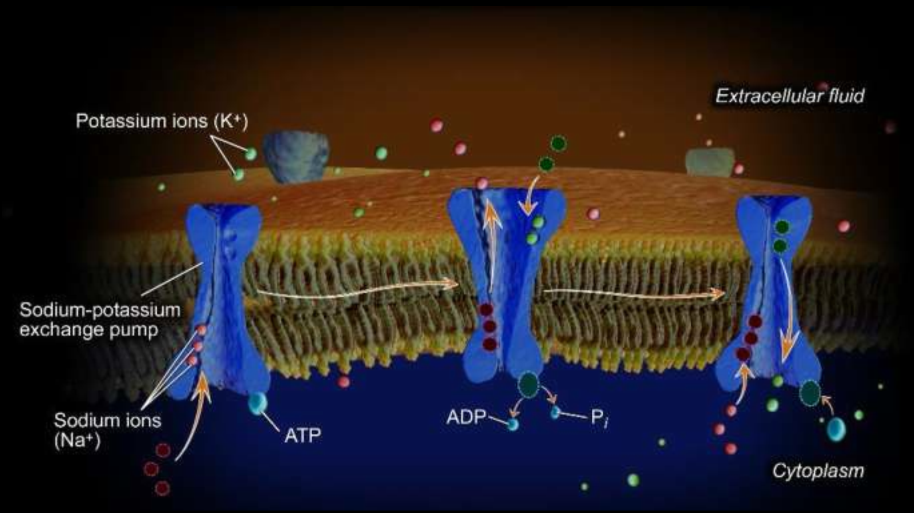



รูปที่ 2-16 การเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ของอิออนขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย 2 ประการ คือ ความแตกต่างทางเคมี และความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์ ในภาวะพักผนังของเซลล์จะยอมให้ โปตัสเซียม อิออนเคลื่อนที่ผ่าน การรั่วของโปตัสเซียมอิออนออกจากเซลล์นี้เป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์ (A) เมื่อการรั่วของโปตัสเซียมซึ่งเป็นประจุบวกเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาหนึ่ง ประจุลบที่ตกค้างอยู่ภายในเซลล์จะดึงในทิศทางตรงข้าม ให้การรั่วของของโปตัสเซียมหยุดลง (B) เรียกภาวะที่เกิดความสมดุลระหว่างแรงทางไฟฟ้าและทางเคมีนี้ว่า สมดุลไฟฟ้าเคมี (electrochemical equilibrium)

เมื่อการรั่วของ $K^+$ เป็นไปในระยะหนึ่ง ศักย์ไฟฟ้าที่ด้านในของผนังเซลล์จะเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดแรงทางไฟฟ้า (electrical force) ดึงดูดไม่ให้มีการรั่วของ $K^+$ ออกนอกเซลล์อีกต่อไป เรียกสมดุลที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากการเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ของ $K^+$ จากความแตกต่างของความเข้มข้นและแรงดึงทางไฟฟ้าเพื่อไม่ให้ $K^+$ ออกจากเซลล์นี้ว่า **สมดุลไฟฟ้าเคมี (electrochemical equilibrium)** และเรียกค่าศักย์ไฟฟ้าที่ภาวะนี้ว่า **ศักย์ไฟฟ้าสมดุล (equilibrium potential)**

**พลังงานและการรักษาศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์**

หากปล่อยให้มีการเคลื่อนที่ของ $K^+$ เกิดขึ้นเช่นนี้ตลอดเวลา ผนังเซลล์จะมีค่าความเข้มข้นของไอออนภายในเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจนทำให้สูญเสียศักย์ไฟฟ้า กล่าวคือจะเป็นลบน้อยลงเรื่อยๆ จนไม่สามารถดึงประจุบวก คือ $K^+$ ไว้ได้ ผลที่เกิดขึ้นคือเกิดการรั่วของ $K^+$ ออกจากเซลล์มากขึ้น จนทำให้เซลล์ทำงานผิดปกติ ดังนั้น ผนังเซลล์จึงพัฒนาให้มีกลไกในการผลัก $Na^+$ ออกจากเซลล์และนำ $K^+$ เข้าสู่เซลล์ โดยใช้ Sodium-potassium linked adenosine triphosphate pump ($Na^+$, $K^+$, -ATPase pump) หรือเรียกสั้นๆ ว่า โซเดียมปั๊ม โครงสร้างนี้จะนำ $Na^+$ ออกจากเซลล์ 3 ประจุ โดยแลกกับการนำ $K^+$ เข้าเซลล์ 2 ประจุ เป็นผลให้ผนังเซลล์ยังคงมีค่าความเป็นลบของศักย์ไฟฟ้าไว้ได้ เราเรียกคุณสมบัติที่ pump ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้านี้ว่า electrogenic property




รูปที่ 2-17 แสดง Sodium-potassium linked adenosine triphosphate pump ($Na^+$, $K^+$, -ATPase pump)

สรุปการเกิดศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ เป็นผลสืบเนื่องมาจากปัจจัย 2 ประการ

1. การมีไอออนลบ ที่ไม่สามารถแพร่ผ่านเยื่อเซลล์อยู่ภายในเซลล์ เช่น โปรตีน ทำให้มีการกระจายของไอออน ที่แพร่ผ่านเยื่อเซลล์ได้ไม่เท่ากัน ระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์ ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ โดยภายในเซลล์มีค่าเป็นลบ
2. ส่วนหนึ่งของศักดิ์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ เกิดจากอิทธิพลของ $Na^+$, $K^+$, - ATPase pump

******************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy* : *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** เนื้อบุผิวและเนื้อยึดต่อ (Epithelial tissue and Connective tissue)

**จำนวน** 2 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับเนื้อบุผิวและเนื้อยึดต่อของร่างกาย
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกชนิดและหน้าที่ของเนื้อเยื่อต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
2. บอกชนิดของเนื้อบุผิวได้อย่างถูกต้อง
3. เรียกชื่อเนื้อบุผิวได้อย่างถูกต้อง
4. ยกตัวอย่างเนื้อบุผิวชนิด covering type ที่สำคัญได้อย่างถูกต้อง
5. บอกหน้าที่ของเนื้อบุผิวได้อย่างถูกต้อง
6. บอกชื่อเซลล์และหน้าที่ของเนื้อยึดต่อได้อย่างถูกต้อง
7. บอกชื่อสิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ได้อย่างถูกต้อง
8. บอกหน้าที่ของเนื้อยึดต่อได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 3

****************************************

# เนื้อบุผิวและเนื้อยึดต่อ
# (Epithelial tissue and Connective tissue)

ตอนที่ 1 เนื้อบุผิว (Epithelial tissue, Epithelium)

1. ชนิดของเนื้อบุผิว
    - 1.1 Covering type
    - 1.2 Glandular epithelium
2. หน้าที่ของเนื้อบุผิว

ตอนที่ 2 เนื้อยึดต่อ (Connective tissue)

- 2.1 เซลล์ (connective tissue cells)
- 2.2 สิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ (Intercellular substance)
- 2.3 หน้าที่ของเนื้อยึดต่อ

# บทที่ 3
# เนื้อบุผิวและเนื้อยึดต่อ
# (Epithelial tissue and Connective tissue)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์จำนวนหลายพันล้านเซลล์ เซลล์ที่มีโครงสร้างและหน้าที่คล้ายคลึงกันมารวมกันเป็นเนื้อเยื่อ (tissue) หลายชนิด ซึ่งมีลักษณะพิเศษเฉพาะ เนื้อเยื่อในร่างกายของมนุษย์แบ่งได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

**1. เนื้อบุผิว (Epithelial tissue)** เป็นกลุ่มเซลล์ที่บุอยู่ตามท่อ ช่องว่าง ต่อม และพื้นผิวต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น หนังกำพร้า เยื่อบุทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ ทางเดินปัสสาวะ อวัยวะสืบพันธุ์ หลอดเลือด เป็นต้น

**2. เนื้อยึดต่อ (Connective tissue)** เป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง และค้ำจุนอวัยวะต่างๆ ให้คงรูปอยู่ได้ เช่น เส้นเอ็น พังผืดที่หุ้มอวัยวะต่างๆ กระดูกแข็ง กระดูกอ่อน และเลือด เป็นต้น

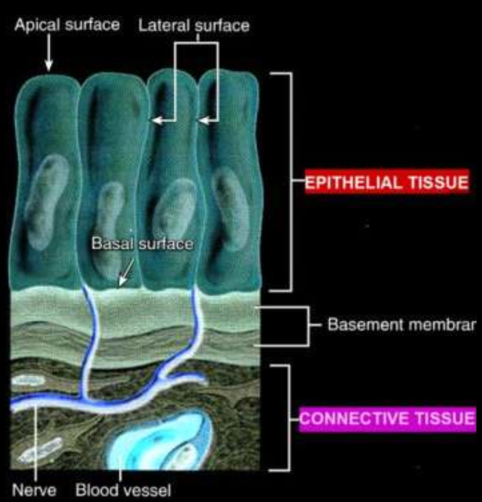
**3. เนื้อกล้ามเนื้อ (Muscular tissue)** เป็นเนื้อเยื่อที่เกาะอยู่กับกระดูก ผิวหนัง และอวัยวะภายในร่างกาย เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวจะเกิดการเคลื่อนไหว ได้แก่ กล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อหัวใจ

**4. เนื้อประสาท (Nervous tissue)** เป็นเนื้อเยื่อชนิดพิเศษ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของร่างกาย ได้แก่ สมอง ไขสันหลัง และเส้นประสาทส่วนปลาย

ในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงเนื้อเยื่อ 2 ชนิด คือ เนื้อบุผิว และเนื้อยึดต่อ สำหรับเนื้อกล้ามเนื้อและเนื้อประสาทจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

## ตอนที่ 1
## เนื้อบุผิว (Epithelial tissue, Epithelium)

เนื้อบุผิวประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ จำนวนมากเรียงชิดติดกัน เซลล์ที่อยู่ชิดติดกันนั้น จะถูกยึดต่อโดยโครงสร้างที่เรียกว่า Junctional complex ซึ่งเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นพิเศษ เพื่อให้เนื้อเยื่อมีลักษณะต่อกันเป็นแผ่น เนื้อบุผิวเป็นเนื้อเยื่อสำคัญในการปกคลุมและดาดผิวทั้งภายในและภายนอกร่างกาย เนื้อบุผิวถูกค้ำจุนโดย basement membrane ซึ่งเป็นชั้นที่ประกอบด้วยสิ่งที่มีลักษณะคล้ายวุ้นและมีเส้นใยร่างแหเล็กๆ ทำหน้าที่ยึดเนื้อบุผิวไว้กับเนื้อยึดต่อที่อยู่ด้านล่าง




รูปที่ 3-1 แสดงโครงสร้างของ epithelial tissue, basement membrane และ connective tissue

**1. ชนิดของเนื้อบุผิว** แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

**1.1 Covering type** เป็นชนิดที่พบดาดอยู่บนผิวหนังของร่างกาย ดาดในอวัยวะที่เป็นท่อ เช่น ท่อทางเดินอาหาร หลอดเลือด เป็นต้น หรือดาดอยู่ในช่องต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ช่องอก และช่องท้อง

**1.2 Glandular type** เป็นชนิดที่พบอยู่ลึกในอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย ทำหน้าที่สร้างและหลั่งสารต่าง ๆ

นอกจากนี้ ยังมีการจำแนกเนื้อบุผิวเป็นชนิดต่าง ๆ โดยอาศัยหลัก 3 ประการ คือ

**1. จำนวนชั้นของเซลล์ (number of cell layers)** ดังนี้

**1.1 Simple epithelium** : เป็นเนื้อบุผิวที่ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวชั้นเดียว

**1.2 Stratified epithelium** : เป็นเนื้อบุผิวที่ประด้วยเซลล์มากกว่า 1 ชั้น เรียงตัวซ้อนทับกัน

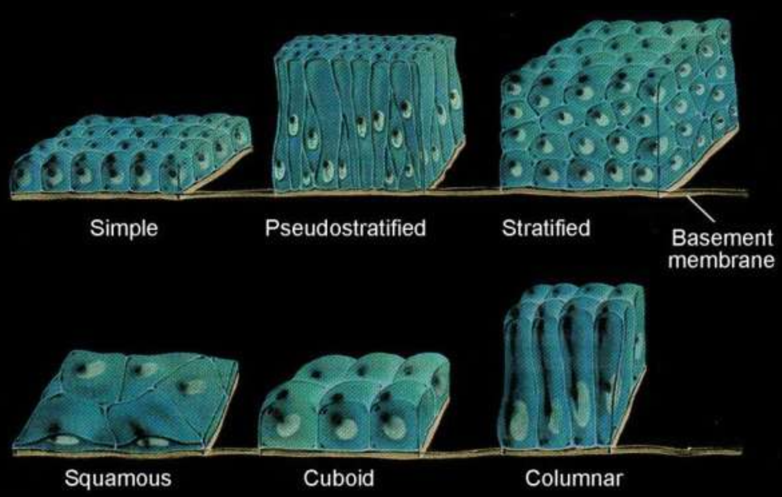
**1.3 Pseudostratified epithelium** : เป็นเนื้อบุผิวที่ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวกันชั้นเดียวแต่มีลักษณะเหมือนกับเซลล์หลายชั้น ซึ่งเกิดจากการที่นิวเคลียสของเซลล์ที่ประกอบกันเป็นเนื้อบุผิวนั้น มีการเรียงตัวในระดับสูงต่ำแตกต่างกัน

**2. รูปร่างของเซลล์ (shape of cells)** ดังนี้

**2.1 Squamous cell** เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างแบน บาง

**2.2 Cuboidal cell** เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างเหมือนลูกบาศก์ มีความสูงเท่า ๆ กับความกว้าง

**2.3 Columnar cell** เป็นเซลล์ทรงสูง มีความสูงมากกว่าความกว้างของเซลล์




รูปที่ 3-2 แสดงจำนวนชั้นของเซลล์ และรูปร่างของเซลล์

**3. การเปลี่ยนแปลงพิเศษของผนังเซลล์ด้านผิวบนของเซลล์**

**3.1 Microvilli** : เป็นส่วนของผนังเซลล์ด้านบนที่ยื่นเข้าไปในท่อกลวง มีลักษณะคล้ายนิ้วมือเล็ก ๆ ยาวประมาณ 1-2 ไมโครเมตร ในกล้องจุลทรรศน์เห็นเป็นเหมือนขนแปรงสีฟัน จึงเรียกว่า brush border ไมโครวิลไลเป็นโครงสร้างพิเศษที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของเซลล์ในการดูดซึมสารต่าง ๆ

**3.2 Stereocilia** : เป็นไมโครวิลไล ที่ยาวคล้ายกับซีเลียแต่เคลื่อนไหวเองไม่ได้

**3.3 Cilia** : เป็นผนังเซลล์ที่ยื่นออกไปเป็นแท่งยาว มีความยาว 5-10 ไมโครเมตร เคลื่อนไหวได้เองทำหน้าที่พัดโบกให้สารในท่อต่าง ๆ เคลื่อนที่ไปได้

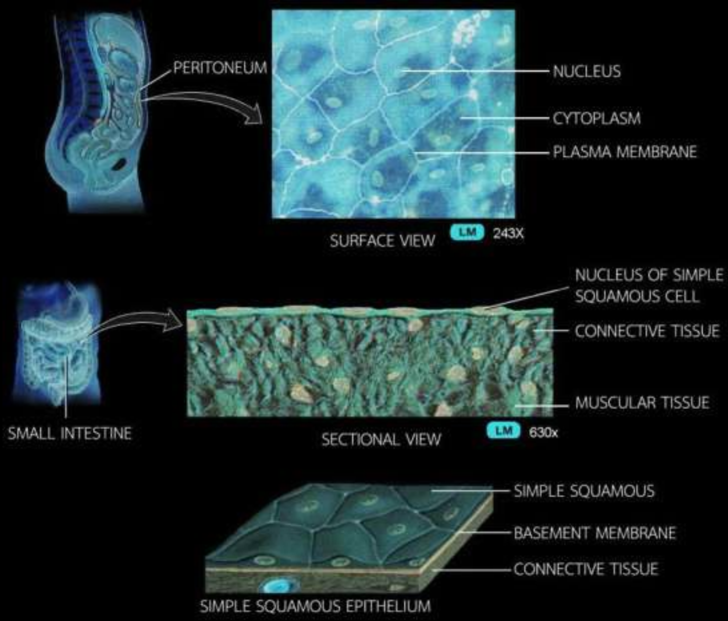
## เนื้อบุผิวชนิด Covering type

### 1. Simple epithelium

**1.1 Simple squamous epithelium** ประกอบด้วยเซลล์แบนเรียงตัวชั้นเดียว เรียกชื่อตามอวัยวะที่พบได้ ดังนี้

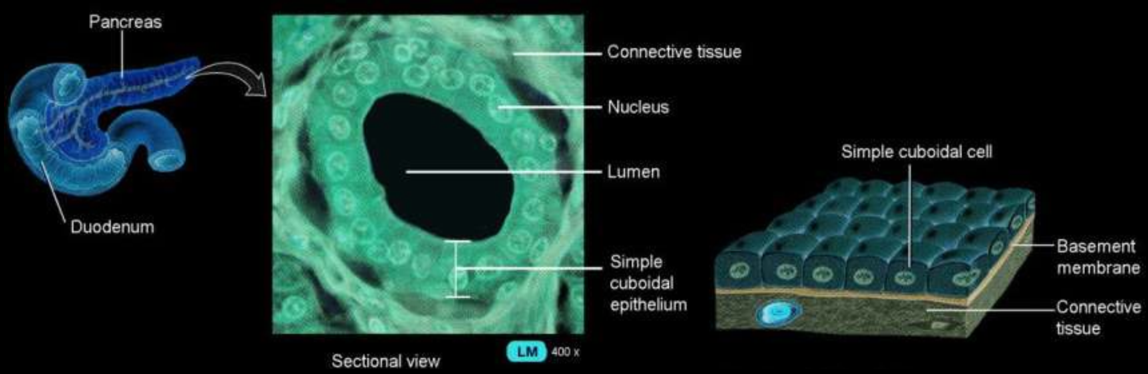
**1.1.1 Mesothelium** คือ simple squamous epithelium ที่ดาดที่เยื่อบุช่องท้อง ช่องปอด ช่องหัวใจ และห่อหุ้มอวัยวะที่อยู่ในช่องเหล่านี้

**1.1.2 Endothelium** คือ simple squamous epithelium ที่บุภายในท่อต่างๆ ของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบหัวใจและหลอดเลือด



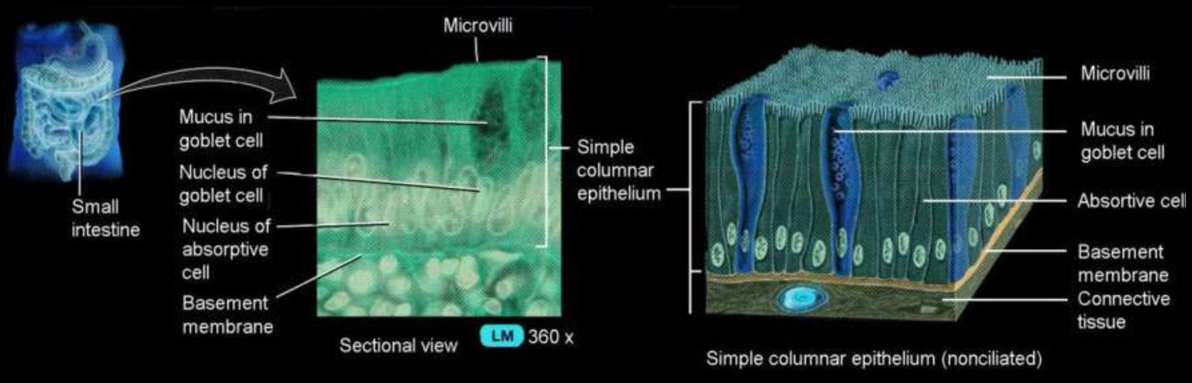

รูปที่ 3-3 แสดงเนื้อบุผิวชนิด simple squamous epithelium

**1.2 Simple cuboidal epithelium** ประกอบด้วยเซลล์รูปลูกบาศก์ มีนิวเคลียสกลม เรียงตัวชั้นเดียว พบตามท่อของอวัยวะที่ทำหน้าที่สร้าง การหลั่ง และดูดซึมสารต่างๆ ผ่านเข้าหรือออกจากร่างกาย เช่น ท่อของหน่วยไต, ท่อของต่อมน้ำลาย, ท่อของตับอ่อน




รูปที่ 3-4 แสดงเนื้อบุผิวชนิด simple cuboidal epithelium

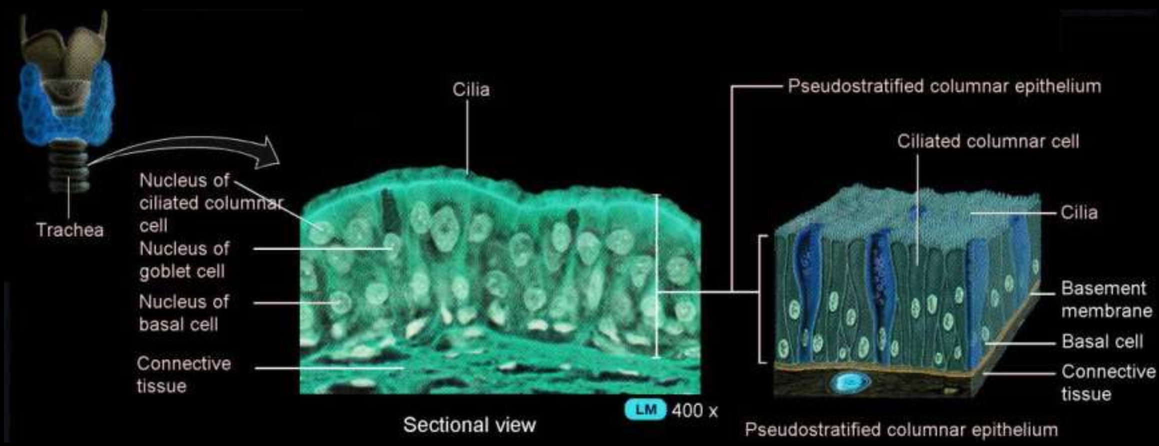
**1.3 Simple columnar epithelium** ประกอบด้วยเซลล์ทรงสูง มีนิวเคลียสรูปรี เรียงตัวชั้นเดียว ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นนิวเคลียสเรียงตัวอยู่ในระดับเดียวกัน ส่วนใหญ่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึม จึงมักพบไมโครวิลไลที่ผิวของเซลล์เสมอ เช่น พบดาดที่ผนังของลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ผนังของถุงน้ำดี ส่วนแบบที่มี ซีเลียพบที่ท่อของมดลูก




รูปที่ 3-5 แสดงเนื้อบุผิวชนิด simple columnar epithelium

**1.4 Pseudostratified columnar epithelium** ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวกันชั้นเดียวแต่เซลล์ที่ประกอบเป็นเนื้อบุผิวชนิดนี้มีความสูงไม่เท่ากัน เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาจะเห็นนิวเคลียสของเซลล์ เรียงตัวอยู่ในระดับต่าง ๆ กันทำให้มีลักษณะคล้ายกับประกอบด้วยเซลล์หลายชั้น

แบบที่มีซีเลีย จะพบที่ท่อของระบบทางเดินหายใจ ส่วนที่มี stereocilia พบที่ท่อระบบสืบพันธุ์ชาย



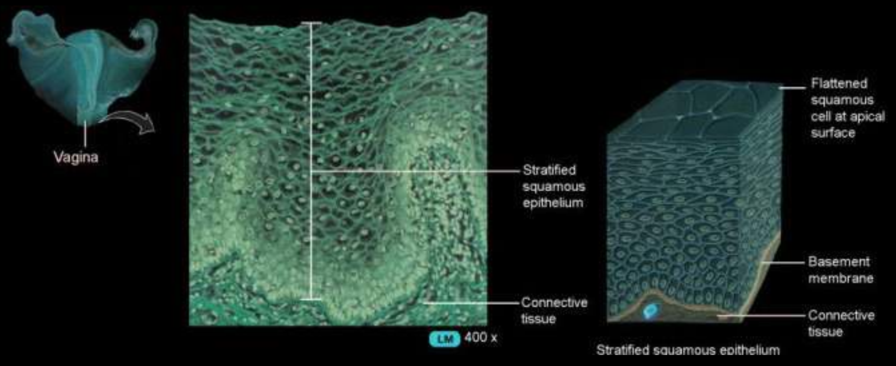

รูปที่ 3-6 แสดงเนื้อบุผิวชนิด pseudostratified columnar epithelium

**2. Stratified epithelium** ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวกันมากกว่า 1 ชั้น การแยกชนิดของเนื้อเยื่อชนิดนี้จะศึกษาจากรูปร่างของเซลล์เฉพาะที่อยู่ชั้นบน ๆ เท่านั้น เพราะเซลล์ที่อยู่ใกล้ basement membrane จะมีรูปร่างเป็นรูปลูกบาศก์แทบทั้งหมด

**2.1 Stratified squamous epithelium** ประกอบด้วยเซลล์หลายชั้น ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการเสียดสี แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

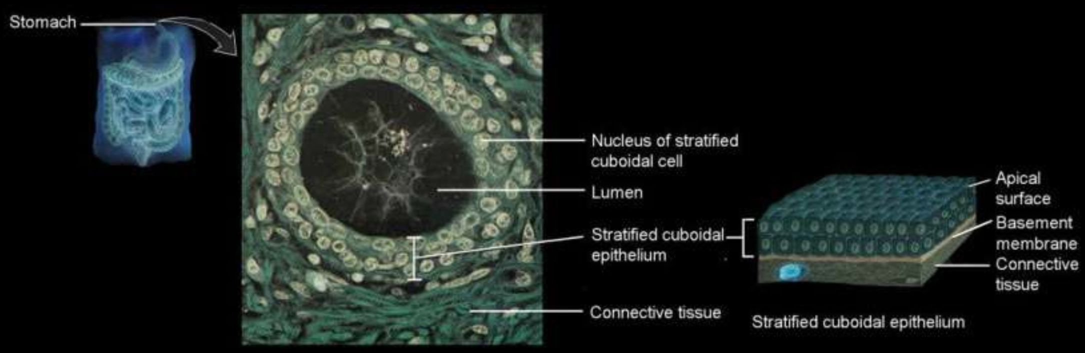
**2.1.1 Non-keratinized type** พบดาดที่ลิ้น ช่องปาก หลอดอาหาร ช่องคลอด และทวารหนัก

**2.1.2 Keratinized type** เป็นเนื้อบุผิวที่มีการสร้างสารโปรตีนชนิดหนึ่งออกมาปกคลุมเซลล์ชั้นบน เรียกว่า keratin (ขี้ไคล) พบที่ชั้นหนังกำพร้า ช่วยป้องกันการเสียดสีและการระเหยของน้ำ



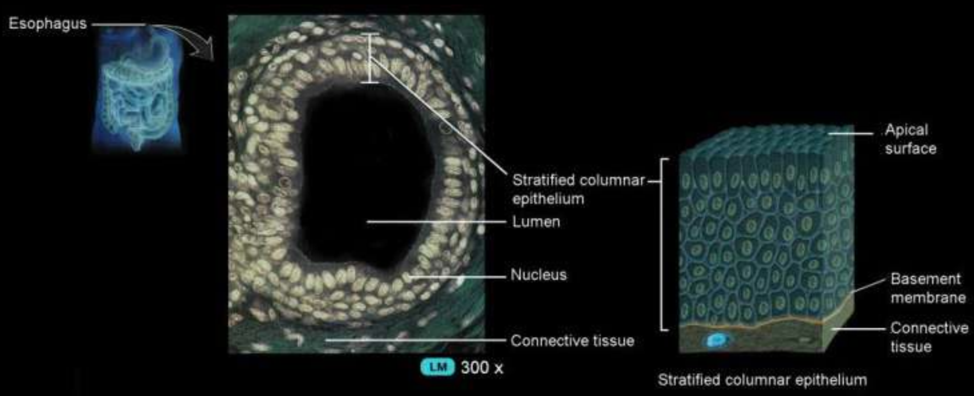

รูปที่ 3-7 แสดงเนื้อบุผิวชนิด stratified squamous epithelium

**2.2 Stratified cuboidal epithelium** ประกอบด้วยเซลล์ 2-3 ชั้น เซลล์ชั้นบนเป็นรูปเหลี่ยมลูกบาศก์ พบเฉพาะที่ท่อขนาดใหญ่ของต่อมต่าง ๆ เช่น ต่อมเหงื่อ ต่อมน้ำลาย



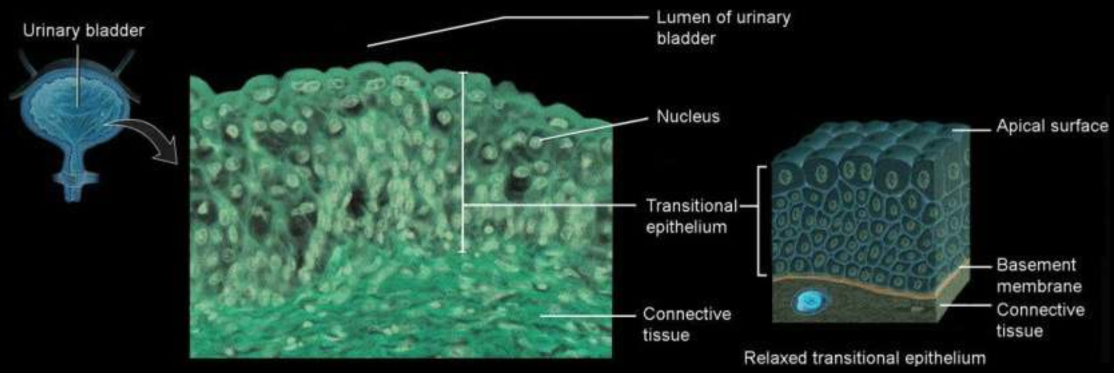

รูปที่ 3-8 แสดงเนื้อบุผิวชนิด stratified cuboidal epithelium

**2.3 Stratified columnar epithelium** ประกอบด้วยเซลล์หลายชั้น เซลล์ชั้นล่าง ๆ มักเป็นรูปหลายเหลี่ยม ส่วนเซลล์ชั้นบนเป็นเซลล์ทรงสูง พบที่ท่อปัสสาวะของเพศชาย




รูปที่ 3-9 แสดงเนื้อบุผิวชนิด stratified columnar epithelium

**2.4 Transitional epithelium** เป็นเนื้อบุผิวชนิดที่พบเฉพาะในระบบทางเดินปัสสาวะ ประกอบด้วยเซลล์รูปหลายเหลี่ยมเรียงตัวซ้อนกันหลายชั้น เซลล์ชั้นบนจะมีลักษณะค่อนข้างกลม เนื้อบุผิวชนิดนี้มีลักษณะพิเศษที่เซลล์สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเซลล์ที่มีรูปร่างกลมไปเป็นเซลล์ที่มีรูปร่างแบนได้ตามการยึดหดของอวัยวะที่เนื้อบุผิวนี้ดาดอยู่ เช่น กระเพาะปัสสาวะ




รูปที่ 3-10 แสดงเนื้อบุผิวชนิด transitional epithelium

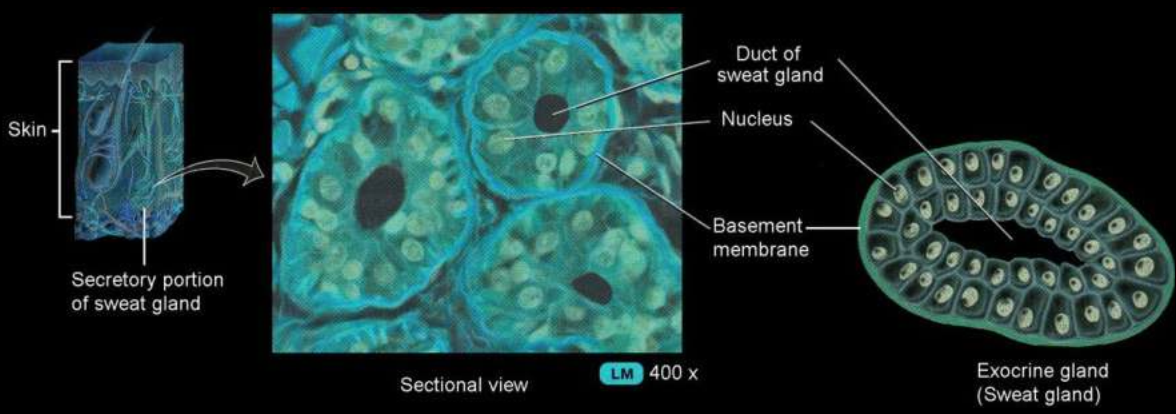
## เนื้อบุผิวชนิด Glandular epithelium

เป็นเนื้อบุผิวชนิดที่ประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ซึ่งทำหน้าที่หลั่งสารคัดหลั่ง (secretion) ส่งออกไปทางท่อหรือปล่อยออกสู่ระบบไหลเวียนโลหิตโดยตรง การเรียงตัวของเซลล์อยู่เป็นกลุ่มก้อน กลุ่มของเซลล์นี้เรียกว่า ต่อม (gland) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

**1. Exocrine gland (ต่อมมีท่อ)** ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วน คือ

**1.1 Secretory unit** เป็นส่วนต้นของต่อม ทำหน้าที่สร้างสารคัดหลั่ง (secretion) ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์เรียงตัวกัน อาจมีรูปร่างเป็นท่อ หรือเป็นกระเปาะ

**1.2 Duct portion** เป็นส่วนของท่อที่เป็นทางนำสิ่งที่ต่อมสร้างออกสู่ภายนอก




รูปที่ 3-11 แสดงโครงสร้างของต่อมมีท่อ

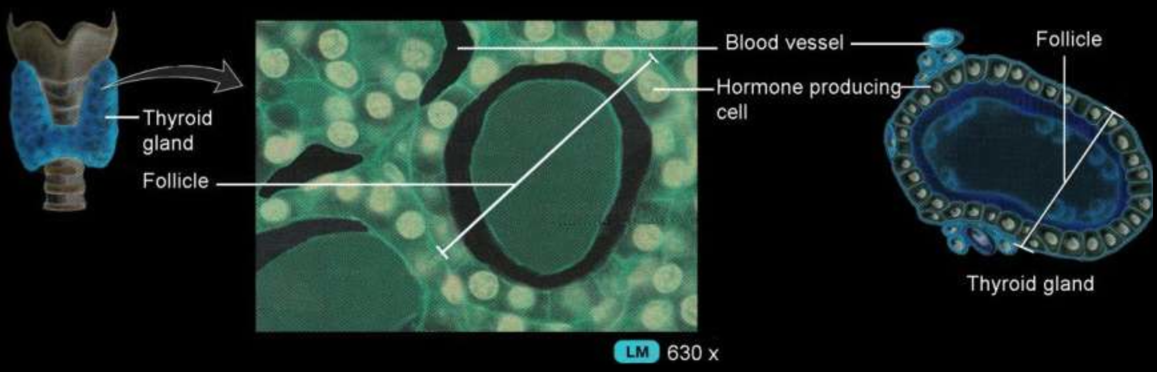
**การแบ่งชนิดของต่อมมีท่อ** แบ่งได้เป็น 3 ชนิด

1. **Mucous gland** เป็นต่อมที่สร้างสารที่มีลักษณะเหนียวเป็นเมือก เช่น ต่อมในลำไส้เล็กส่วนต้น
2. **Serous gland** เป็นต่อมที่สร้างสารน้ำใสๆ ส่วนใหญ่เป็นพวกน้ำย่อย เช่น ต่อมน้ำลาย ตับอ่อน
3. **Mixed sero-mucous gland** เป็นต่อมที่สร้างทั้งสารเหนียวข้น และที่เป็นน้ำใสปนกัน เช่น ต่อมน้ำลายใต้กรามล่าง

**2. Endocrine gland (ต่อมไร้ท่อ)** ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วน คือ

**2.1 Parenchyma (ส่วนเนื้อ)** ประกอบด้วยเซลล์ที่ทำหน้าที่ในการหลั่ง (secretory cell) เซลล์เรียงตัวหลายแบบ เช่น เป็นกลุ่ม เป็นแผ่น มีลักษณะเด่น คือมีหลอดเลือดฝอยและแอ่งเลือดเล็ก ๆ (sinusoid) แทรกอยู่เป็นจำนวนมากเพื่อนำสารที่สร้างจากต่อมไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย

**2.2 Stroma (ส่วนเปลือกหุ้ม)** ประกอบด้วยเนื้อยึดต่อที่เป็นเปลือกหุ้มต่อมและมีบางส่วนยื่นแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างส่วนเนื้อ เรียกว่า trabeculae พบมีเส้นประสาท หลอดเลือด และหลอดน้ำเหลืองแทรกอยู่




รูปที่ 3-12 แสดงโครงสร้างของต่อมไร้ท่อ

**ชนิดของต่อมมีท่อ**

1. ชนิดที่เป็นต่อมแยกอยู่เดี่ยวๆ ได้แก่ pituitary gland, thyroid gland, parathyroid gland, adrenal gland, pineal gland และ thymus gland

2. ชนิดที่รวมอยู่กับต่อมมีท่อ ได้แก่ Islets of Langerhans ของตับอ่อน, Gonads ได้แก่ รังไข่และอัณฑะ, กลุ่มเซลล์ในไต กลุ่มเซลล์ในรก

3. กลุ่มเซลล์ที่พบกระจัดกระจายอยู่ตามอวัยวะต่างๆ เช่น ในระบบทางเดินอาหาร

**หน้าที่ของเนื้อบุผิว**

หน้าที่ของเนื้อบุผิว ที่สำคัญ ได้แก่

1. การป้องกัน (protection) เช่น เนื้อบุผิวที่ปกคลุมร่างกาย ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เชื้อโรคผ่านเข้าสู่ร่างกายและป้องกันการระเหยของน้ำออกจากร่างกาย

2. การดูดซึม (absorption) เช่น เนื้อบุผิวที่บุลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ดูดซึมสารอาหารต่าง ๆ ที่ร่างกายต้องการเข้าสู่หลอดเลือด, เนื้อเยื่อปอดยอมให้มีการผ่านของออกซิเจน

3. การขับสิ่งต่างๆ (secretion) เช่น ต่อมต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน เพื่อควบคุมการทำงานของร่างกาย

4. รับความรู้สึก (sensation) เช่น จมูกรับกลิ่น ผิวหนังรับความร้อน ความเย็น ความเจ็บปวด

## ตอนที่ 2

## เนื้อยึดต่อ (Connective tissue)

เนื้อยึดต่อเป็นเนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ที่อยู่กระจัดกระจาย มีสิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ซึ่งเป็นพวกเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ฝังตัวอยู่ใน amorphous intercellular substance แทรกอยู่ระหว่างเซลล์เป็นจำนวนมาก เนื้อยึดต่อมีองค์ประกอบหลัก 2 อย่าง คือ เซลล์ (connective tissue cells) และสิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ (intercellular substance) ซึ่งแบ่งย่อยเป็น 2 ชนิด คือ Fibrous intercellular substance และ Amorphous intercellular substance (ground substance)

**1. เซลล์ (connective tissue cells)** ชนิดของเซลล์ที่พบในเนื้อยึดต่อ มีดังนี้

**1.1 Fibroblasts** พบมากที่สุดในเนื้อยึดต่อ ทำหน้าที่สร้าง intercellular substances

**1.2 Macrophages** ทำหน้าที่ทำลายเชื้อโรคและสิ่งที่ร่างกายไม่ต้องการ โดยวิธี phagocytosis

**1.3 Mast cells** เป็นเซลล์ขนาดใหญ่ ภายใน cytoplasm ของเซลล์พบมีแกรนูล อยู่เป็นจำนวนมาก แกรนูลเหล่านี้บรรจุสารพวกแฮปารีน, ฮีสตามิน ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาภูมิคุ้มกัน

**1.4 Adipocytes** เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่สะสมไขมัน ภายในเซลล์บรรจุหยดไขมันขนาดใหญ่ ทำให้นิวเคลียสของเซลล์ถูกดันไปอยู่ด้านข้าง เซลล์จึงมีลักษณะคล้ายแหวน

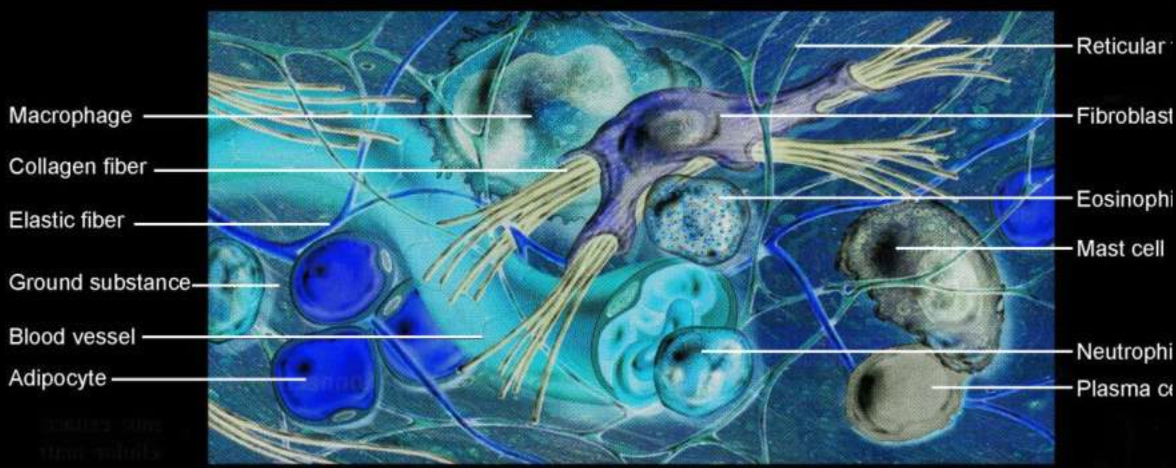
**1.5 Plasma cells** เป็นเซลล์ขนาดเล็ก ทำหน้าที่สร้างแอนติบอดี

**1.6 Mesenchymal cells** ส่วนใหญ่พบในเนื้อเยื่อของตัวอ่อน เซลล์ชนิดนี้สามารถเปลี่ยน แปลงไปเป็นเซลล์ของเนื้อยึดต่อชนิดอื่นได้

**2. สิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ (Intercellular substance)**

**2.1 Fibrous intercellular substance** เป็นพวกเส้นใยของเนื้อยึดต่อที่แทรกอยู่ระหว่างเซลล์ มีอยู่ 3 ชนิด คือ Collagenous fibers, Elastic fibers และ Reticular fibers

**2.1.1 Collagenous fibers** เป็นสารจำพวกโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นใย มีลักษณะเป็นแถบยาวตรงหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ปกติเป็นเส้นใยที่ไม่มีสีแต่เมื่อรวมกันเป็นมัดเห็นเป็นสีขาว ส่วนใหญ่ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างของร่างกาย เช่น เส้นเอ็น (tendon) พังผืด (aponeurosis) เป็นต้น




รูปที่ 3-13 แสดงเซลล์และสิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ ในเนื้อยึดต่อ

**2.1.2 Elastic fibers** มีลักษณะเป็นเส้นใยบางยาวคล้ายเส้นด้ายเล็ก ๆ พบมากที่ผนังของหลอดเลือดขนาดใหญ่ หรือตามเนื้อเยื่อที่ต้องการความยืดหยุ่น เช่น กระดูกอ่อนที่ใบหู สายเสียง

**2.1.3 Reticular fibers** เป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุด เรียงตัวเป็นร่างแหประกอบเป็นโครงร่างของอวัยวะต่าง ๆ เรียกว่า reticulum เส้นใยชนิดนี้เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในเนื้อยึดต่อของตัวอ่อน ในคนที่เติบโตเต็มที่ reticular fibers เป็นโครงร่างของอวัยวะที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างเม็ดเลือด เช่น ม้าม ไขกระดูกแดง และเป็นโครงให้เซลล์เนื้อบุผิวยึดเกาะ เช่น ในตับ ไต เป็นต้น

**2.2 Amorphous intercellular substance (ground substance)** เป็นองค์ประกอบของเนื้อยึดต่อที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เป็นที่ฝังของพวกเซลล์และเส้นใยชนิดต่าง ๆ ของเนื้อยึดต่อ ลักษณะของ ground substance จะแตกต่างไปตามชนิดของเนื้อยึดต่อ องค์ประกอบของ ground substance ส่วนใหญ่เป็นพวก glycosaminoglycan ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

1) Hyaluronic acid
2) Chondroitin sulfate
3) Dermatan sulfate
4) Keratan sulfate
5) Heparan sulfate

Ground substance ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้ของเหลวที่บรรจุสารอาหาร ออกซิเจนหรือของเสียจากเซลล์ซึมผ่านเข้าออกระหว่างเซลล์กับหลอดเลือดฝอยได้

**การแบ่งชนิดของเนื้อยึดต่อ**

1. Connective tissues proper เช่น ชั้นใต้ผิวหนัง (subcutaneous tissue) เยื่อแขวนลำไส้ (mesentery) หนังแท้ (dermis) เส้นเอ็น (tendon) ไขมัน (adipose tissue)
2. Specialized connective tissues เช่น กระดูกแข็ง (bone) กระดูกอ่อน (cartilage) และเลือด (blood)

**หน้าที่ของเนื้อยึดต่อ**

1. ยึดเกาะเนื้อเยื่อให้เกาะติดกัน
2. รองรับและห่อหุ้มเนื้อเยื่ออื่น ๆ
3. ช่วยให้อาหารแก่เนื้อเยื่อที่เกาะอยู่
4. ช่วยทำลายสิ่งแปลกปลอม
5. ซ่อมแซมเนื้อเยื่อส่วนที่สึกหรอ

************************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** ระบบปกคลุมร่างกาย (Integumentary system)

**จำนวน** 2 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับระบบปกคลุมร่างกาย
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. นิยามคำว่าระบบปกคลุมร่างกายได้อย่างถูกต้อง
2. บอกส่วนประกอบของผิวหนังได้อย่างถูกต้อง
3. เปรียบเทียบความแตกต่างของหนังกำพร้าและหนังแท้ได้อย่างถูกต้อง
4. บอกชื่อเซลล์และหน้าที่ของหนังกำพร้าได้อย่างถูกต้อง
5. บอกหน้าที่ของต่อมเหงื่อได้อย่างถูกต้อง
6. บอกโครงสร้างและหน้าที่ของต่อมไขมันได้อย่างถูกต้อง
7. บอกโครงสร้างและหน้าที่ของขนได้อย่างถูกต้อง
8. บอกหน้าที่ของผิวหนังได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 4

**************************************

# ระบบปกคลุมร่างกาย
# (Integumentary system)

**ตอนที่ 1 ผิวหนัง (Skin, Cutaneous membrane, Integument)**

1. หนังกำพร้า (Epidermis)
    1.1 ชั้นของหนังกำพร้า
    1.2 เซลล์ของหนังกำพร้าGlandular epithelium
2. หนังแท้ (Dermis)

**ตอนที่ 2 อวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง (Skin appendages)**

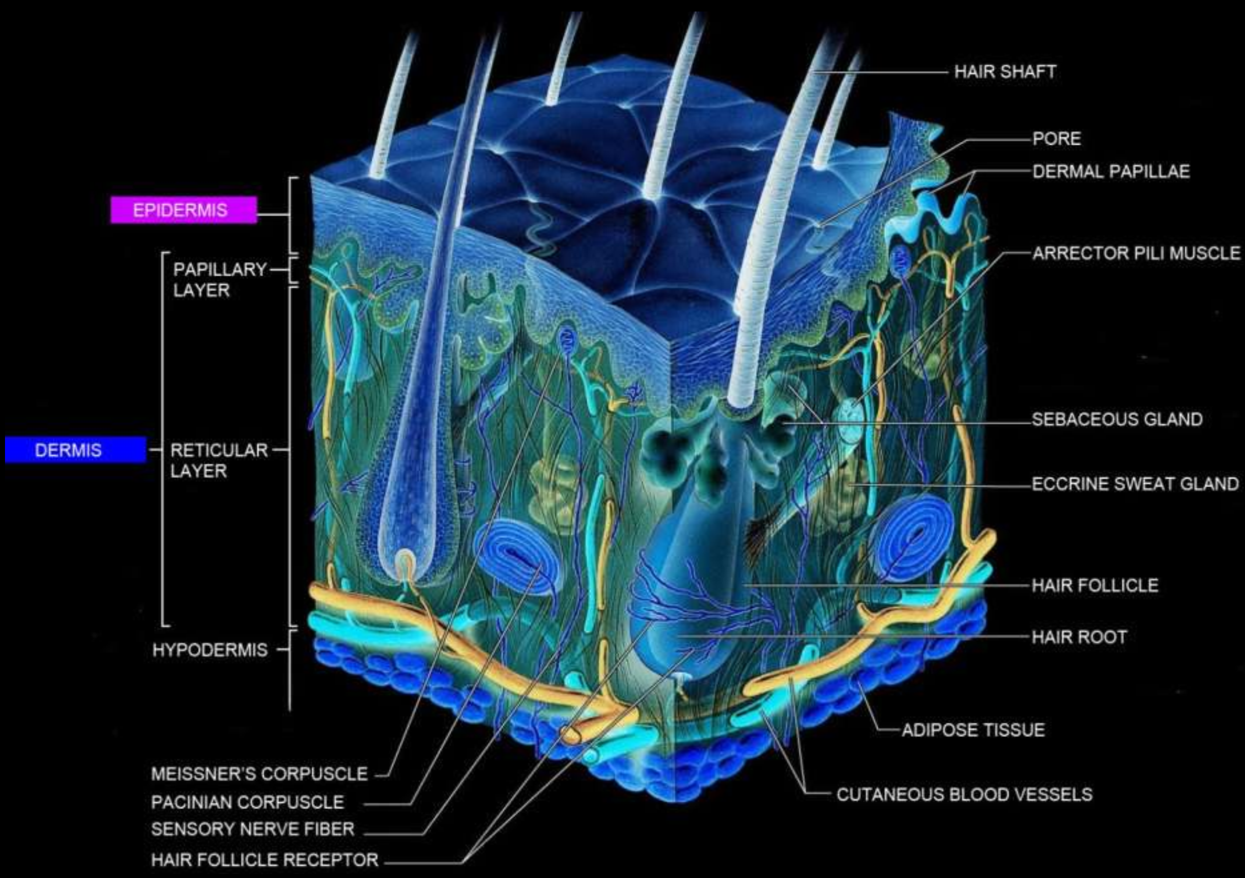
2.1 ต่อมเหงื่อ (Sweat gland)
2.2 ต่อมไขมัน (Sebaceous gland)
2.3 ผม/ขน (Hair)
2.4 เล็บ (Nail)

# บทที่ 4
# ระบบปกคลุมร่างกาย (Integumentary system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

ระบบปกคลุมร่างกาย หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วยผิวหนัง (skin) และอวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง (skin appendages) ซึ่งได้แก่ ขน ผม เล็บ ต่อมไขมัน และต่อมเหงื่อ

ผิวหนังเป็นอวัยวะที่ใหญ่ที่สุดในร่างกายมีพื้นที่ผิวประมาณ 1.8 ตารางเมตรในผู้ชาย และประมาณ 1.5 ตารางเมตรในผู้หญิง ความหนาของผิวหนังอยู่ระหว่าง 0.5-6 มิลลิเมตร มีความหนาแตกต่างกันในแต่ละที่ ผิวหนังที่บางอยู่บริเวณหนังตาและเยื่อแก้วหู ผิวหนังที่หนาอยู่บริเวณฝ่ามือ และฝ่าเท้า




รูปที่ 4-1 แสดงโครงสร้างของผิวหนัง (skin) และอวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง (skin appendages)

**ระบบปกคลุมร่างกาย แบ่งเป็น 2 ส่วน** ได้แก่

**1. ผิวหนัง (Skin, Cutaneous membrane, Integument)** ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น คือ

**1.1 Epidermis (หนังกำพร้า)** อยู่ชั้นบน ประกอบด้วยเนื้อบุผิว Stratified squamous epithelium ชนิดที่มีเคอราติน (keratinized type) ผิวหนังชั้นนี้เจริญมาจากเนื้อเยื่อชั้นนอกในระยะตัวอ่อน

**1.2 Dermis (หนังแท้)** อยู่ชั้นล่าง เป็นเนื้อยึดต่อที่เจริญมาจากเนื้อเยื่อชั้นกลางในระยะตัวอ่อน

ใต้ชั้นหนังแท้จะเป็นชั้นใต้ผิวหนัง (hypodermis หรือ subcutaneous tissues) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อยึดต่อที่อยู่กันอย่างหลวมๆ และไขมัน ซึ่งมีจำนวนมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละส่วนของร่างกาย ชั้นนี้ไม่นับรวมเป็นชั้นของผิวหนัง

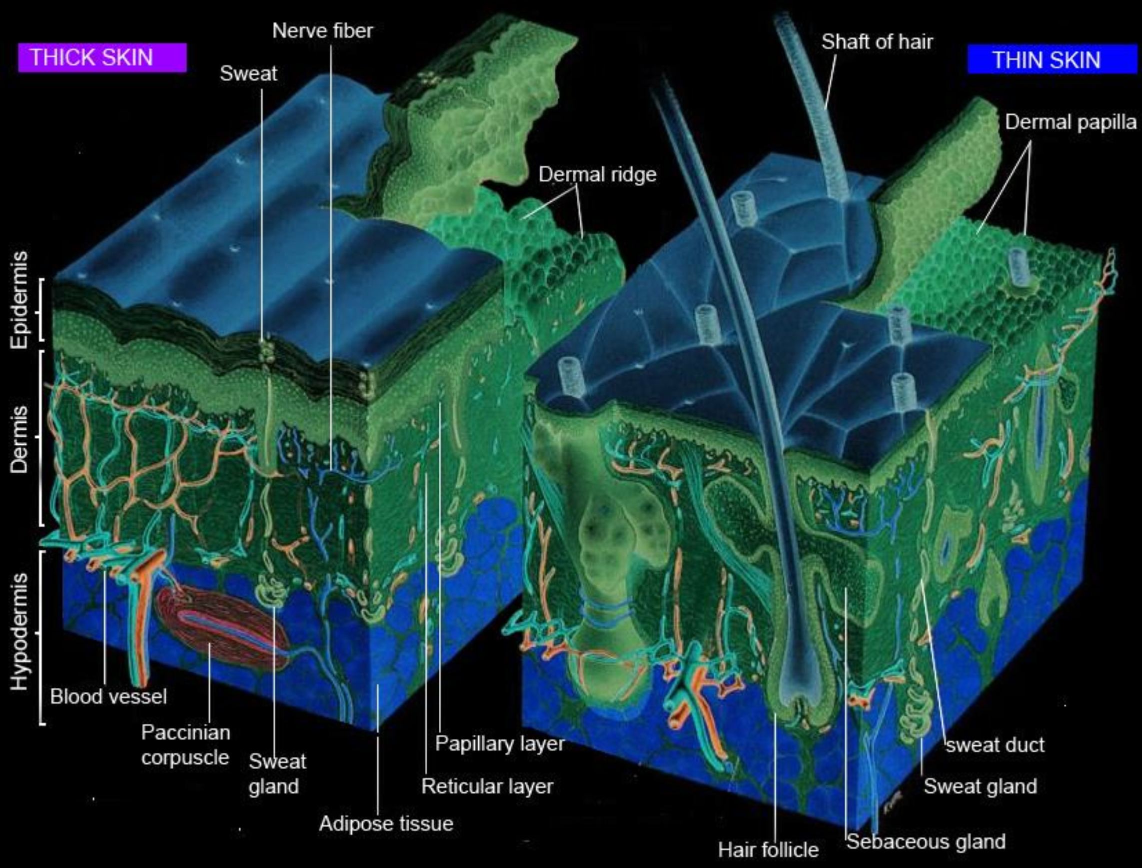
**2. อวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง (Skin appendage)** ได้แก่ ต่อมเหงื่อ (sweat gland) ต่อมไขมัน (sebaceous gland) ผม/ขน (hair) และเล็บ (nail)

## ตอนที่ 1

## ผิวหนัง (Skin, Cutaneous membrane, Integument)

### 1. หนังกำพร้า (Epidermis)

อยู่ด้านบนสุด สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง ไม่มีหลอดเลือดมาเลี้ยง และได้รับอาหารจากหนังแท้ เซลล์ในชั้นหนังกำพร้า มีการสร้างใหม่ตลอดเวลาจากเซลล์ที่อยู่ชั้นลึกที่เคลื่อนขึ้นสู่ชั้นบน หนังกำพร้าแบ่งเป็น 2 ชนิดตามความหนา คือ **หนังกำพร้าชนิดหนา (thick epidermis)** พบที่ฝ่ามือ และฝ่าเท้า ชั้นนี้ไม่มีขน รูขุมขน ต่อมไขมัน แต่มีต่อมเหงื่อจำนวนมาก และ**หนังกำพร้าชนิดบาง (thin epidermis)** พบบริเวณอื่นๆ ของร่างกาย เช่น ลำตัว แขนขา เป็นต้น ชั้นนี้มีอวัยวะที่เกิดจากผิวหนังครบ




รูปที่ 4-2 แสดงชั้นหนังกำพร้า ชนิดหนา (ซ้าย) และ หนังกำพร้าชนิดบาง (ขวา)

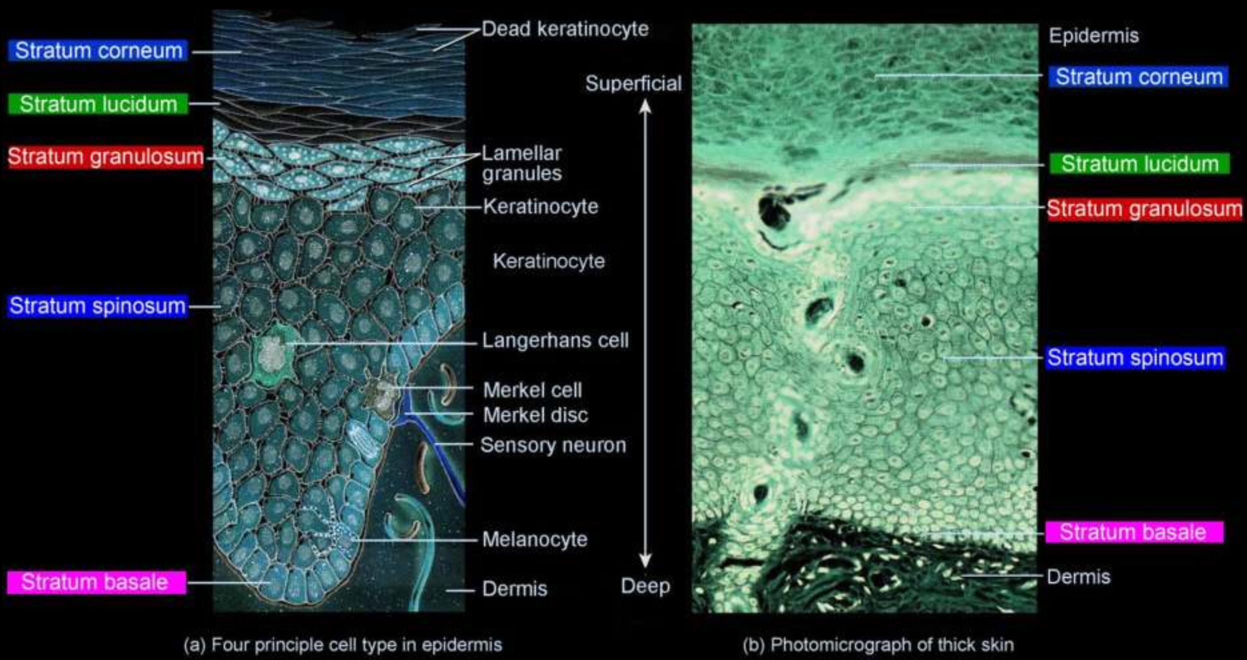
**1.1 ชั้นของหนังกำพร้า**

ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ แยกได้เป็น 4 ชั้น เรียงจากชั้นล่างขึ้นมาชั้นบน ดังนี้

**1) Stratum basale (Stratum germinativum)** เป็นชั้นล่างสุดของหนังกำพร้าประกอบ ด้วยเซลล์ทรงเหลี่ยมลูกบาศก์ เรียกว่า basal cell เรียงตัวกันชั้นเดียว วางตัวอยู่บน basement membrane เซลล์ในชั้นนี้มีการเจริญแบ่งตัวมาก เพื่อเพิ่มจำนวนและเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์ในชั้นบน

**2) Stratum spinosum** ประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวซ้อนกัน 5-10 ชั้น เซลล์มีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม เรียกเซลล์ในชั้นนี้ว่า prickle cells (spinous cells) เนื่องจากพบว่าตามขอบของเซลล์ มีลักษณะคล้ายหนามยื่นไปยึดกับเซลล์ข้างเคียง เรียกส่วนที่ยึดระหว่างเซลล์นี้ว่า intercellular bridges เซลล์ในชั้นนี้มีการเคลื่อนตัวขึ้นข้างบน เพื่อทดแทนเซลล์ชั้นบน ๆ ที่ลอกหลุดออกเป็นขี้ไคล

อาจเรียกชั้น stratum basale รวมกับชั้น stratum spinosum ว่า stratum malpighii




รูปที่ 4-3 แสดงชั้นต่าง ๆ ของหนังกำพร้า

**3) Stratum granulosum** ประกอบด้วยเซลล์ค่อนข้างแบน ขนาดและรูปร่างไม่แน่นอน เรียงตัวกัน 3-5 ชั้น เรียกว่า granular cell เนื่องจากภายใน cytoplasm ของเซลล์บรรจุแกรนูล (granules) จำนวนมากเรียกว่า keratohyalin granules ซึ่ง keratohyalin granules เกี่ยวข้องในกระบวนการสร้าง keratin (ชั้นขี้ไคล) นอกจากนี้เซลล์ในชั้นนี้ยังสร้างแกรนูล ที่เรียกว่า membrane coating granules ซึ่งบรรจุสารที่จะปล่อยออกมานอกเซลล์ เพื่อทำหน้าที่เคลือบระหว่างเซลล์ ทำให้เซลล์ยึดติดกันได้ดีขึ้น และช่วยป้องกันการเสียน้ำ

**4) Stratum corneum** เป็นชั้นบนสุดของ epidermis ประกอบด้วยเซลล์มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ จำนวนชั้นของเซลล์แตกต่างกันตั้งแต่ 5-10 ชั้น จนถึงหลายร้อยชั้น ขึ้นกับบริเวณต่าง ๆ ของผิวหน้า ในระดับกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเซลล์ในชั้นนี้มีลักษณะเหมือนเซลล์ตายหรือเซลล์ที่เสื่อม โดยเฉพาะเซลล์ที่อยู่ชั้นบนสุดนั้นองค์ประกอบอื่น ๆ ภายในเซลล์แตกสลายไปหมด เรียกว่าเกิด desquamation เซลล์เหล่านี้เมื่อลอกหลุดเป็นขี้ไคลจะถูกเซลล์ที่อยู่ใต้ถัดลงไปแบ่งตัวขึ้นมาแทนที่

ในผิวหนังที่มีชั้น stratum corneum หนาๆ จะมีชั้นใสโปร่งแสงเห็นเป็นแถบสีชมพูจางอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้น stratum granulosum และ stratum corneum เรียกว่า ชั้น stratum lucidum ซึ่งเป็นชั้นของสารที่ถูกปล่อยออกมาจาก membrane coating granules ชั้นนี้ไม่พบในหนังกำพร้าชนิดบาง

### 1.2 เซลล์ของหนังกำพร้า

หนังกำพร้าประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด ได้แก่

**1. Keratinocyte** เป็นเซลล์ที่พบมากที่สุด เซลล์นี้มีความสามารถในการสร้าง keratin (ขี้ไคล) กระบวนการที่เซลล์ในชั้น Stratum basale มีการแบ่งตัวเปลี่ยนแปลงไปจนกลายเป็นเซลล์ตายที่บรรจุ keratin ในชั้น stratum corneum เรียกว่า keratinization

**2. Melanocyte** เป็นเซลล์รูปแฉกดาว ทำหน้าที่สร้างเมลานิน (melanin) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสีที่ผิวหนัง ผมและม่านตา

**3. Langerhans cell** เป็นเซลล์รูปแฉกดาว ทำหน้าที่เก็บกินสิ่งแปลกปลอมของผิวหนัง พบได้ทั่วไปในชั้นหนังกำพร้า หนังแท้ และต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง

**4. Merkel cell** มีหน้าที่เกี่ยวกับการรับความรู้สึกสัมผัส

## 2. หนังแท้ (Dermis)

เป็นชั้นของเนื้อยึดต่อที่อยู่ลึกถัดลงมาจากชั้นหนังกำพร้า ตรงบริเวณรอยต่อของทั้ง 2 ชั้น จะมีส่วนของชั้นหนังกำพร้าที่ยื่นลงไปในชั้นหนังแท้ เรียกว่า epidermal ridge และเรียกส่วนของหนังแท้ที่แทรกอยู่ระหว่างหนังกำพร้า dermal papillae เพื่อเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างหนังกำพร้ากับหนังแท้ ทำให้ยึดติดกันได้แข็งแรงมากขึ้น ใต้ต่อชั้นหนังแท้จะเป็นชั้นที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไขมันเรียกว่า Subcutaneous หรือ hypodermis ซึ่งมีความหนาแตกต่างกันไปในแต่ละส่วน ชั้น Subcutaneous นี้ ไม่นับรวมเป็นชั้นของผิวหนัง

## ตอนที่ 2
## อวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง (Skin appendages)

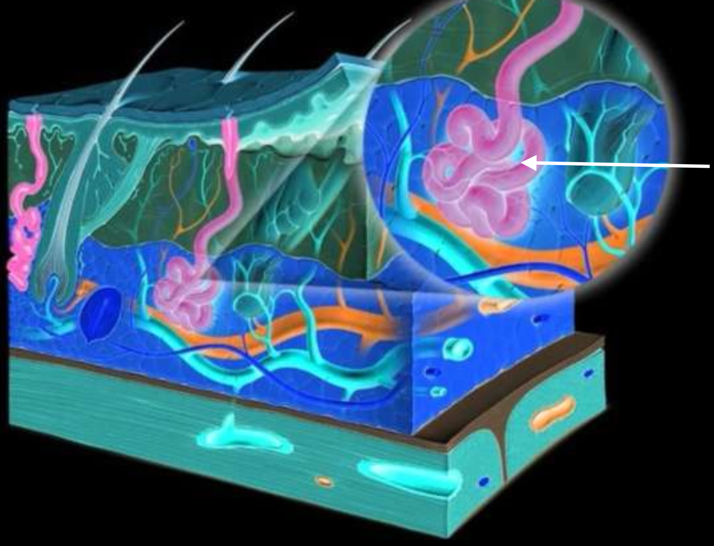
อวัยวะที่กำเนิดมาจากผิวหนัง ได้แก่ ต่อมเหงื่อ (sweat gland) ต่อมไขมัน (sebaceous gland) ผม/ขน (hair) เล็บ (nail)

### 2.1 ต่อมเหงื่อ (Sweat gland)

ต่อมเหงื่อพบกระจายทั่วไปตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

**1.1 Eccrine sweat gland** เป็นต่อมเหงื่อชนิดที่พบทั่ว ๆ ไปตามผิวของร่างกาย ยกเว้นบริเวณริมฝีปาก อวัยวะเพศชาย (penis) คลิตอลิส (clitoris) และแคมใน (labia minora) เหงื่อที่สร้างขึ้นจากต่อมชนิดนี้ มีลักษณะเป็นน้ำใสและถูกส่งผ่านทางท่อออกสู่ผิวหนังโดยตรง หน้าที่ของต่อมเหงื่อชนิดนี้เกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ภายใต้การควบคุมของระบบประสาทอัตโนมัติ

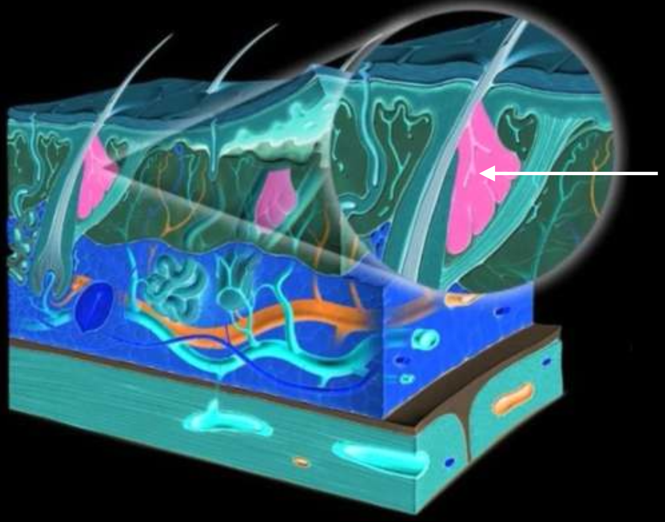
**1.2 Apocrine sweat gland** เป็นต่อมเหงื่อที่พบบริเวณ รักแร้ อวัยวะสืบพันธุ์ รอบๆ หัวนม ต่อมชนิดนี้สร้างสารที่มีลักษณะเหนียวข้น ขุ่นขาวคล้ายน้ำนม ไม่มีกลิ่น แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับแบคทีเรียที่ผิวหนังจะกลายเป็นสารที่มีกลิ่น ท่อของต่อมชนิดนี้มักเปิดเข้าสู่โคนขน การทำงานของต่อมชนิดนี้ถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ ในสัตว์จะพบต่อมชนิดนี้กระจายอยู่ทั่วไปตามร่างกาย มีความสำคัญเกี่ยวกับพฤติกรรมทางเพศและการแสดงอาณาเขต แต่ในคนยังไม่ทราบความสำคัญชัดเจน



รูปที่ 4-4 แสดงต่อมเหงื่อ Eccrine sweat gland และ Apocrine sweat gland

### 2.2 ต่อมไขมัน (Sebaceous gland)

ต่อมไขมันเป็นต่อมที่มีความสัมพันธ์กับขน โดยมีท่อสั้น ๆ ไปเปิดที่โคนของขนหรือผม ท่อที่เปิดออกสู่ผิวหนังโดยตรงมักยาวกว่า ต่อมไขมันพบได้ทั่วไปตามร่างกาย ไขมันที่สร้าง เรียกว่า sebum เมื่อหลั่งออกมาจะเคลือบขนและผิวหนังบริเวณนั้นป้องกันไม่ให้เปียกน้ำ ซึ่งไม่มีความสำคัญในมนุษย์ การทำงานของต่อมไขมันถูกควบคุมโดยฮอร์โมนเพศ ก่อนวัยรุ่นต่อมไขมันจะมีขนาดเล็กมากเมื่อถึงวัยรุ่นการทำงานและขนาดต่อมไขมันจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมนแอนโดรเจน (androgen)



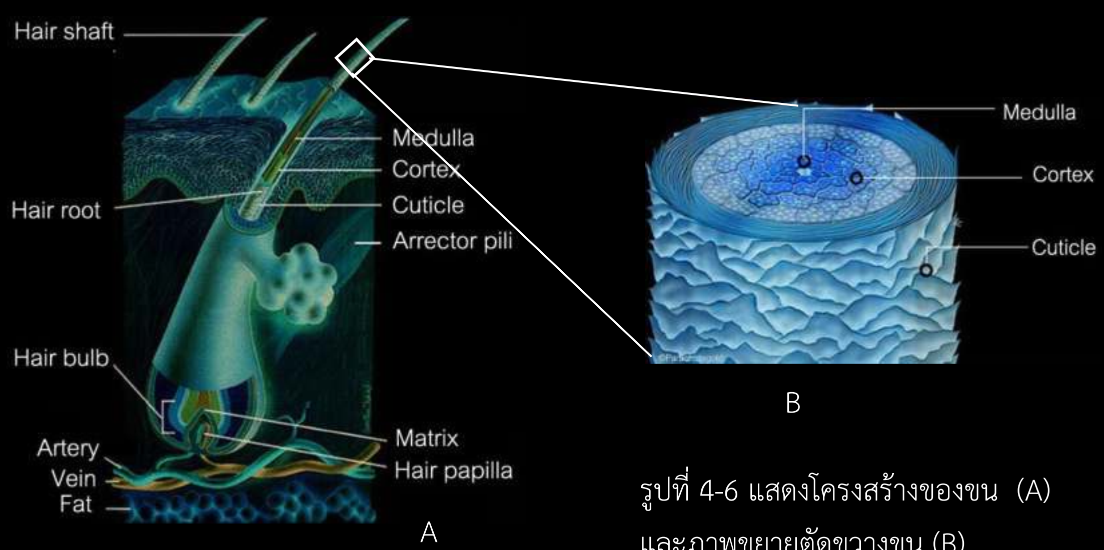
รูปที่ 4-5 แสดงต่อมไขมัน (Sebaceous gland)

## 2.3 ผม/ขน (Hair)

ขนกำเนิดมาจากต่อมขน (hair follicles) ซึ่งเกิดจากชั้นหนังกำพร้าที่เว้าลึกลงไปในชั้นหนังแท้ ส่วนโคนของต่อมขนมีลักษณะเป็นกระเปาะ มีชั้นหนังแท้ เรียกว่า hair papilla เป็นแกน และมีชั้นหนังกำพร้าหุ้มล้อมรอบเป็นส่วนของ hair matrix รูปร่างลักษณะของต่อมขนนั้นแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณ ซึ่งทำให้ขนที่สร้างนั้นมีลักษณะต่างกันด้วย เช่น ต่อมขนบริเวณหนังศีรษะ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกยาวตั้งตรงซึ่งสร้างผมยาว ส่วนต่อมขนบริเวณลำตัวมีลักษณะค่อนข้างสั้นและอ้วนกว่า ซึ่งจะสร้างขนที่สั้นและละเอียดอ่อน

**โครงสร้างของขน** ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

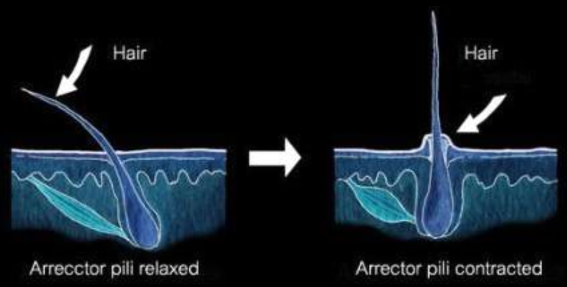
1. Outer cuticle เป็นชั้นนอกสุด มีองค์ประกอบเป็นเคอราตินอย่างแข็ง ลักษณะเป็นเกล็ดบาง
2. Cortex ประกอบด้วยเซลล์แบนหลายชั้น ภายในเซลล์เหล่านี้บรรจุพวกเคอราตินอย่างแข็ง และแกรนูลที่ให้สี (pigment granules)
3. Medulla ประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะเหมือนเซลล์ที่เสื่อมเห็นเป็นถุงน้ำมากมายอยู่ภายในเซลล์ เซลล์เหล่านี้บรรจุเคอราตินอย่างอ่อน




รูปที่ 4-6 แสดงโครงสร้างของขน (A) และภาพขยายตัดขวางขน (B)

สีของขนเกิดจากเซลล์ melanocytes บริเวณ hair matrix สร้างเม็ดสีส่งไปไว้ในชั้น cortex และ medulla ของขน

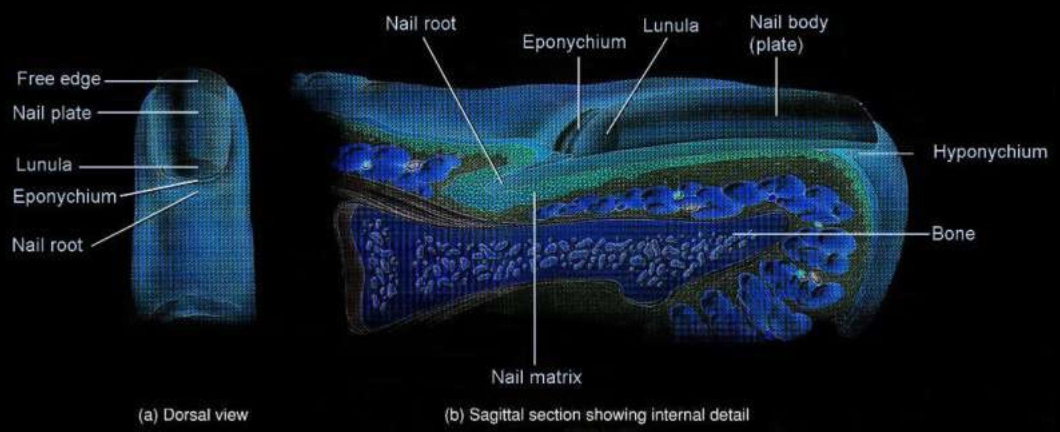
บริเวณชั้นนอกสุดของ hair follicle จะมีเนื้อยึดต่อหุ้มล้อมรอบและมีกล้ามเนื้อเรียบเกาะจากเนื้อยึดต่อไปยัง dermal papilla เรียกว่ากล้ามเนื้อ arrector pili เมื่อกล้ามเนื้อนี้หดตัวจะทำให้ขนตั้งชันและผิวหนังบุ๋มลงไปเกิดอาการที่เรียกว่า ขนลุก การทำงานของกล้ามเนื้อนี้ถูกควบคุมโดยระบบประสาทซิมพาเธติก ซึ่งจะถูกกระตุ้นด้วยความเย็นหรือความกลัว




รูปที่ 4-7 แสดงกล้ามเนื้อ arrector pili หดตัว ทำให้เกิดอาการขนลุก

## 2.4 เล็บ (Nail)

แผ่นเล็บ (nail plate) เป็นแผ่นที่คลุมอยู่บนผิวหนังบริเวณปลายนิ้วมือและนิ้วเท้า เรียกส่วนที่รองรับแผ่นเล็บนี้ว่า nail bed ตรงโคนของแผ่นเล็บจะมีลักษณะเป็นรูปพระจันทร์เสี้ยว เรียกว่า lunula เซลล์เนื้อบุผิวที่อยู่ใต้ต่อ lunula เป็นส่วนที่ทำหน้าที่สร้างแผ่นเล็บ เรียกเนื้อบุผิวบริเวณนี้ว่า nail matrix แผ่นเล็บจะเจริญงอกยาวไปจาก nail matrix โดยค่อย ๆ ยื่นยาวออกไปทางปลายนิ้ว ส่วน nail bed นั้น ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการสร้างเล็บ แต่มีหน้าที่รองรับแผ่นเล็บ




รูปที่ 4-8 แสดงส่วนต่าง ๆ ของเล็บ (nail) ด้านบน (A) และด้านข้าง (B)

**หน้าที่ของผิวหนัง** โดยทั่วไป ผิวหนังมีหน้าที่ ดังนี้

**1. การป้องกัน (Protection)** ผิวหนังช่วยป้องกันอันตรายจากแสง ultraviolet และความร้อนไม่ให้ผ่านเข้าสู่ร่างกายมากเกินไป และช่วยป้องกันไม่ให้มีการระเหยของน้ำออกจากร่างกายมากเกินไป นอกจากนี้ผิวหนังยังเป็นด่านป้องกันเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ ไม่ให้ผ่านเข้าสู่ร่างกาย

**2. การรับความรู้สึก (Sensation)** ผิวหนังประกอบด้วยอวัยวะรับความรู้สึกมากมายหลายชนิด เช่น อวัยวะรับความรู้สึกเกี่ยวกับการสัมผัส (touch) ความเจ็บปวด (pain) อุณหภูมิ (temperature)

**3. ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย** โดยการทำงานของต่อมเหงื่อ กลุ่มร่างแหของหลอดเลือดฝอยและไขมันที่อยู่ในชั้นใต้ผิวหนัง ทำให้อุณหภูมิของร่างกายคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม

**4. ควบคุมการเผาผลาญของร่างกาย** โดยเป็นแหล่งเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปของชั้นไขมันใต้ผิวหนัง และเซลล์ในชั้นหนังกำพร้ายังช่วยสร้างวิตามินดีให้กับร่างกายด้วย

***********************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบโครงร่าง
(Anatomy and Physiology of Skeletal system)

**จำนวน** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับ ส่วนประกอบทางเคมีของกระดูก มหกายวิภาคของกระดูก จุลกายวิภาคของกระดูกแข็ง ชนิดของกระดูก คำที่ใช้อธิบายส่วนต่างๆ ของกระดูก ข้อต่อ และการเคลื่อนไหว กระดูกในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และ หน้าที่ของกระดูก
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. ความหมายของคำว่าโครงร่างได้อย่างถูกต้อง
2. บอกส่วนประกอบของกระดูกสดได้อย่างถูกต้อง
3. บอกโครงสร้างของกระดูกแข็งได้อย่างถูกต้อง
4. ชื่อบอกของไขกระดูกและตำแหน่งที่พบได้อย่างถูกต้อง
5. บอกชื่อส่วนต่างๆ ของกระดูกแข็งได้อย่างถูกต้อง
6. จำแนกชนิดของกระดูก (classification) ได้อย่างถูกต้อง
7. บอกจำนวนกระดูกแข็งที่ประกอบเป็นโครงร่างและการแบ่งชนิดของกระดูกที่ประกอบเป็นโครงร่างได้อย่างถูกต้อง
8. บอกชื่อกระดูกของกระดูกแกนและหน้าที่ได้อย่างถูกต้อง
9. บอกชื่อกระดูกของกระดูกรยางค์และหน้าที่ได้อย่างถูกต้อง
10. บอกหน้าที่ของกระดูกได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย

4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 5

**************************************

# ระบบโครงร่าง

# (Skeletal system)

**ตอนที่ 1 ระบบโครงร่าง**

1.1 ส่วนประกอบทางเคมีของกระดูก
1.2 มหกายวิภาคของกระดูก
1.3 จุลกายวิภาคของกระดูกแข็ง
1.4 ชนิดของกระดูกแข็ง
1.5 เซลล์ของกระดูกแข็ง
1.6 การเจริญเติบโตของกระดูกแข็ง
1.7 ชนิดของกระดูกแข็ง
1.8 ข้อต่อ
1.9 คำที่ใช้อธิบายส่วนต่างๆ ของกระดูก

**ตอนที่ 2 กระดูกในส่วนต่างๆ ของร่างกาย**

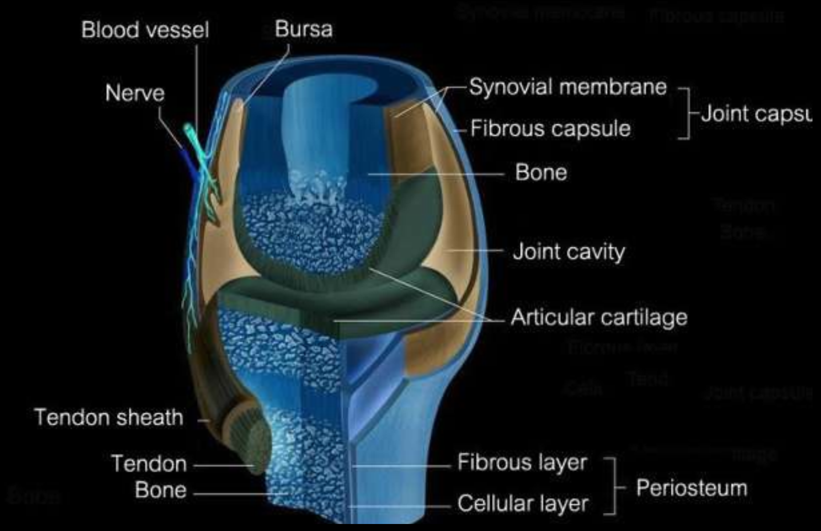
2.1 กระดูกแกน (The Axial skeletal)
2.2 กระดูกรยางค์ (The Appendicular skeleton)

# บทที่ 5
# ระบบโครงร่าง (Skeletal system)

-------------------------------------

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

ระบบโครงร่าง ประกอบด้วยกระดูกแข็ง (bone) ตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไป มาประกอบกันเป็นข้อต่อ (joint) โดยมีเอ็นยึดข้อ (articular ligament) และเยื่อหุ้มข้อ (joint capsule) ยึดเอาไว้ ระบบโครงร่างทำหน้าที่เป็นโครงของร่างกาย สามารถเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ได้เมื่อกล้ามเนื้อที่มาเกาะข้ามข้อต่อนั้นมีการหดตัว นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันอวัยวะภายในต่างๆ ไม่ให้ได้รับอันตรายจากภายนอก




รูปที่ 5-1 แสดงกายวิภาคของกระดูกแข็ง (Bone) และข้อต่อ (Joint)

## ตอนที่ 1
## โครงร่างของร่างกายมนุษย์

### 1. ส่วนประกอบทางเคมีของกระดูก

กระดูกสดๆ มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 50% และของแข็งอีก 50% ในส่วนที่เป็นของแข็งนั้น 67% เป็นสารประกอบอนินทรี ประกอบด้วยแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนใหญ่ ทำให้กระดูกมีลักษณะแข็งแต่เปราะแตกง่าย อีก 33% เป็นสารประกอบอินทรีย์ ประกอบด้วยเซลล์ หลอดเลือด และเส้นใยของเนื้อเยื่อยึดต่อ ทำให้กระดูกมีความเหนียว ยืดหยุ่น ทนต่อแรงดึงและแรงบิดได้เป็นอย่างดี

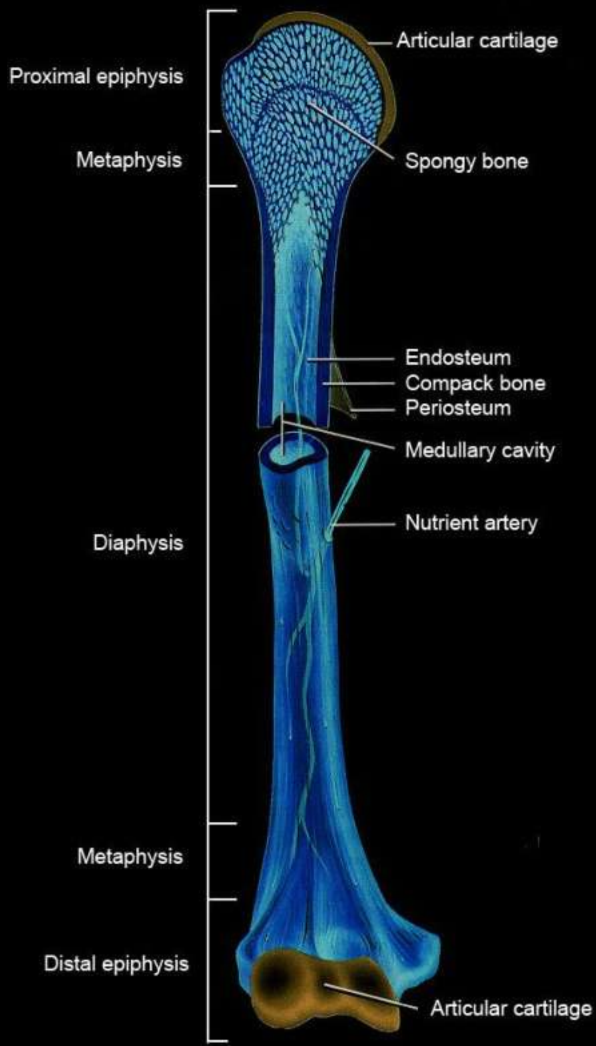
พวกสารอนินทรี จะละลายออกเมื่อแช่กระดูกในสารละลายกรด กระดูกจะทรงรูปอยู่ได้ มีความเหนียวจนดัดโค้งงอได้ แต่ไม่แข็งแรง ส่วนสารอินทรี จะเอาออกได้เมื่อนำกระดูกไปเผาไฟ ส่วนที่เหลือเป็นกระดูกยังคงรูปได้ แต่แข็งและเปราะแตกง่าย

กระดูกของเด็ก มีสารอนินทรีน้อยแต่มีสารอินทรีย์มากกว่าในผู้ใหญ่ กระดูกจึงมีความยืดหยุ่นมากกว่า ไม่ค่อยแตกหักง่ายและเมื่ออายุมากขึ้นสารอนินทรีจะมากขึ้นเป็นลำดับ กระดูกผู้ใหญ่จึงหักง่ายและติดกันยาก

## 2. มหกายวิภาคของกระดูก

กระดูกที่เป็นแท่งยาว จะประกอบด้วยส่วนลำตัวของกระดูก เรียกว่า **shaft (diaphysis)** และส่วนปลายของกระดูกทั้ง 2 ข้าง เรียกว่า **epiphysis** ส่วนของ epiphysis ประกอบด้วย**กระดูกแข็ง (compact bone)** เป็นส่วนใหญ่ ภายในมีลักษณะเป็น**กระดูกฟองน้ำ (spongy bone, cancellous bone)** ตรงกลางของ diaphysis มีโพรงขนาดใหญ่อยู่ภายในเรียกว่า **medullary cavity** เป็นที่บรรจุของ**ไขกระดูก (bone marrow)**

ผิวด้านนอกของกระดูกมีเยื่อหุ้ม เรียกว่า **periosteum** ซึ่งมีหลอดเลือด หลอดน้ำเหลือง และเส้น ประสาทวิ่งเข้ามาสู่เยื่อหุ้มนี้ เซลล์ชั้นลึกของ periosteum จะทำหน้าที่สร้างเนื้อกระดูกที่ยังเจริญไม่เต็มที่  ภายในโพรงไขกระดูกจะดาดด้วยเยื่อหุ้มกระดูกชั้นใน เรียกว่า **endosteum**




รูปที่ 5-3 แสดงมหกายวิภาคของกระดูกแข็ง

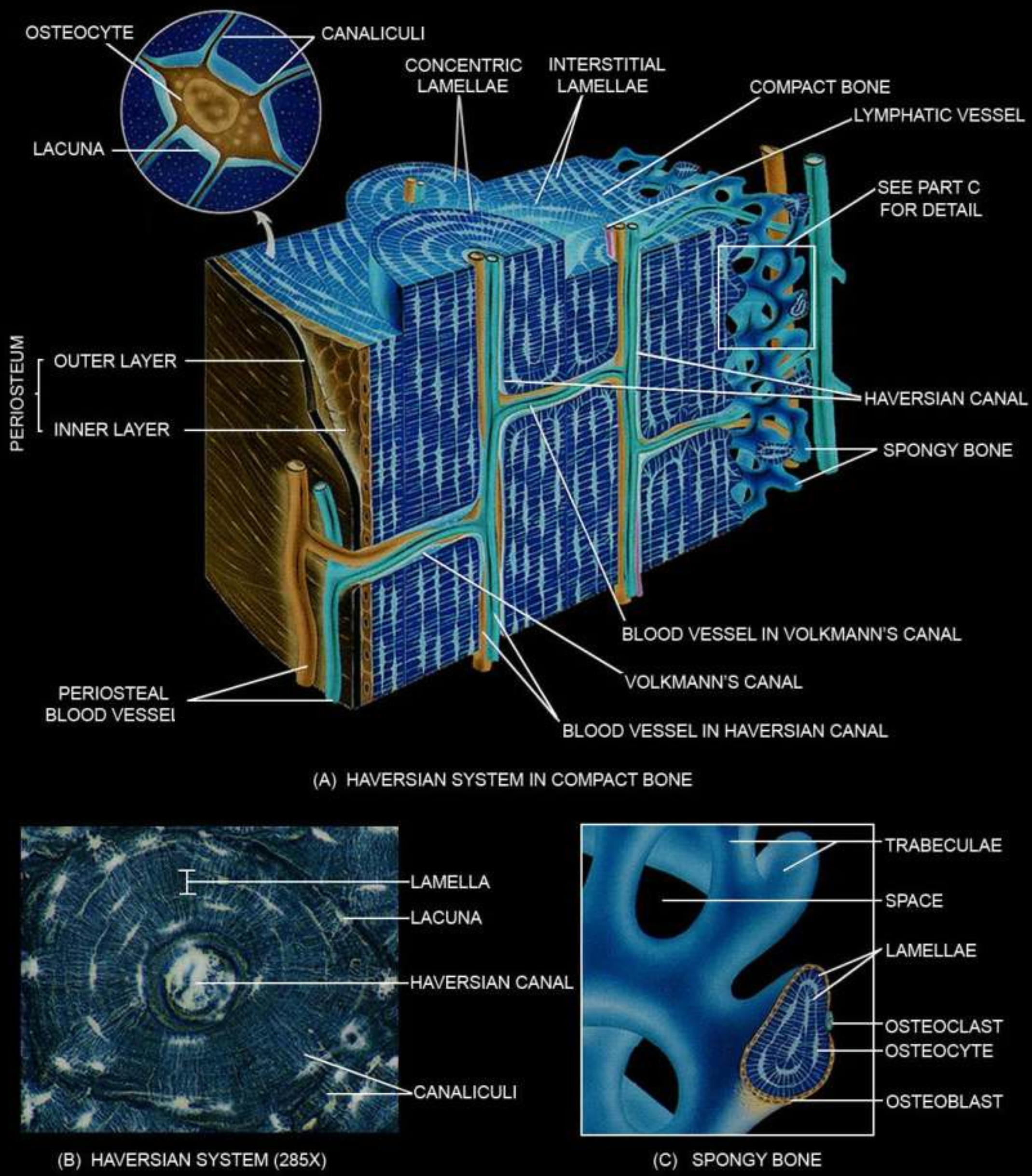
ไขกระดูกมี 2 ชนิด  ได้แก่

**1. ไขกระดูกแดง (Red bone marrow)** พบใน body ของกระดูกสันหลัง กะโหลกศีรษะ กระดูกหน้าอก กระดูกซี่โครง และที่ส่วนปลายของกระดูกต้นแขน ต้นขา ไขกระดูกแดงประกอบด้วยเม็ดเลือดแดงเป็นจำนวนมาก

**2. ไขกระดูกเหลือง (Yellow bone marrow)** พบที่โพรงของกระดูกยาว ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไขมันเป็นส่วนใหญ่

## 3. จุลกายวิภาคของกระดูกแข็ง

กระดูกแข็ง เป็นเนื้อยึดต่อชนิดพิเศษที่ช่องว่างระหว่างเซลล์มีเกลือแคลเซียมมาตกตะกอน ทำให้เนื้อเยื่อชนิดนี้มีความแข็งแรงมากเป็นพิเศษ ถ้าเรานำกระดูกแข็งมาตัดบางๆ แล้วศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นเกลือแคลเซียมที่มาตกตะกอนเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นๆ เรียกนี้ว่า **lamellae** ระหว่าง lamellae จะมีเซลล์ของกระดูกแข็งชื่อ **osteocyte** ที่บรรจุในช่องว่าง ลักษณะเป็นแอ่งเล็กๆ เรียกว่า lacunae เรียงตัวอยู่เป็นระยะๆ และมีช่องทางเล็กๆ เรียกว่า **canaliculi** เชื่อมต่อถึงกันได้ ช่วยให้อาหารและออกซิเจนซึมผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง




รูปที่ 5-4 แสดงจุลกายวิภาคของกระดูก (A), ภาพตัดขวางของระบบ Haversian system (B), และภาพขยายของกระดูกพรุน (C)

ระหว่าง lamellae จะมีเซลล์ของกระดูกแข็งชนิด osteocyte ที่บรรจุในช่องว่าง ลักษณะเป็นแอ่งเล็กๆ เรียกว่า **lacunae** เรียงตัวอยู่เป็นระยะๆ และมีช่องทางเล็กๆ (canaliculi) เชื่อมต่อถึงกันได้ ช่วยให้อาหารและออกซิเจนสามารถซึมผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง

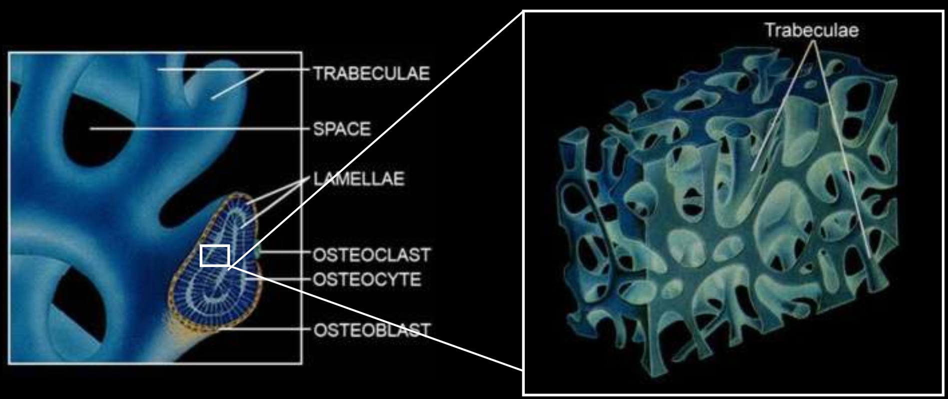
**4. ชนิดของกระดูกแข็ง** แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

**1) Compact bone** กระดูกมีลักษณะแน่นแข็ง มีการจัดเรียงตัวของชั้นกระดูกอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่า ระบบ **Haversian system** ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของกระดูกแข็ง ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของสาร อาหารไปเลี้ยงเซลล์กระดูกแข็ง

ระบบ Haversian system ประกอบด้วยชั้นกระดูกที่เรียงตัวกันเป็นวงกลมซ้อนกันหลายชั้น ตรงกลางมีลักษณะเป็นท่อยาว เรียกว่า Haversian canal เป็นทางผ่านของหลอดเลือด หลอดน้ำเหลืองและเส้นประสาทที่มาเลี้ยงเซลล์กระดูก Haversian canal แต่ละอันเชื่อมติดต่อกันผ่านทางท่อที่เรียกว่า **Volkmann's canal**

**2) Cancellous (spongy) bone** หรือกระดูกฟองน้ำ ประกอบด้วยกระดูกแข็งชิ้นเล็กๆ เรียกว่า trabeculae ระหว่างกระดูกแข็งชิ้นเล็กมีช่องว่างเล็กๆ เป็นที่อยู่ของไขกระดูกแดง และเซลล์ไขมัน เมื่อมองด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นการเรียงตัวของชั้นกระดูกไม่เป็นระเบียบ และมีจำนวนน้อย

กระดูกฟองน้ำพบอยู่ที่ส่วนปลายของกระดูกยาวและตรงกลางของกระดูกแบน กระดูกสั้นและกระดูกรูปแปลก นอกจากนี้ยังพบว่ากระดูกพรุนที่กระดูกสะโพก ซี่โครง กระดูกกลางอก กระดูกสันหลัง กะโหลกศีรษะ พบไขกระดูกแดงจำนวนมาก และเป็นแหล่งสร้างเม็ดเลือดในผู้ใหญ่




รูปที่ 5-5 แสดงลักษณะของกระดูกพรุน

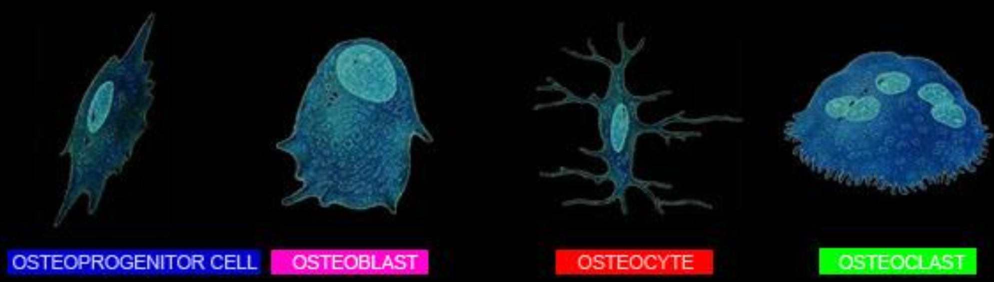
**5. เซลล์ของกระดูกแข็ง** ประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด

**5.1 Osteoprogenitor cell** เป็นเซลล์ต้นกำเนิดของกระดูกแข็ง เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นจะเปลี่ยนเป็นเซลล์กระดูกชนิด osteoblast

**5.2 Osteoblast** เป็นเซลล์ที่มีหน้าที่การสร้างเนื้อกระดูก สร้างสารที่อยู่ระหว่างเซลล์ (intercellular substance) ซึ่งต่อมาจะมีแคลเซียมเข้าไปสะสม กลายเป็นกระดูกแข็ง

**5.3 Osteocyte** เป็นเซลล์ที่เจริญเต็มที่ อยู่ในแอ่งเล็กๆ ที่ เรียกว่า lacunae เซลล์มีความสามารถสร้างและสลายเนื้อกระดูก บำรุงรักษาและซ่อมแซมเนื้อกระดูกบริเวณใกล้เคียง และควบคุมปริมาณของแคลเซียมในเลือดภายใต้อิทธิพลของพาราไทรอยด์ฮอร์โมน

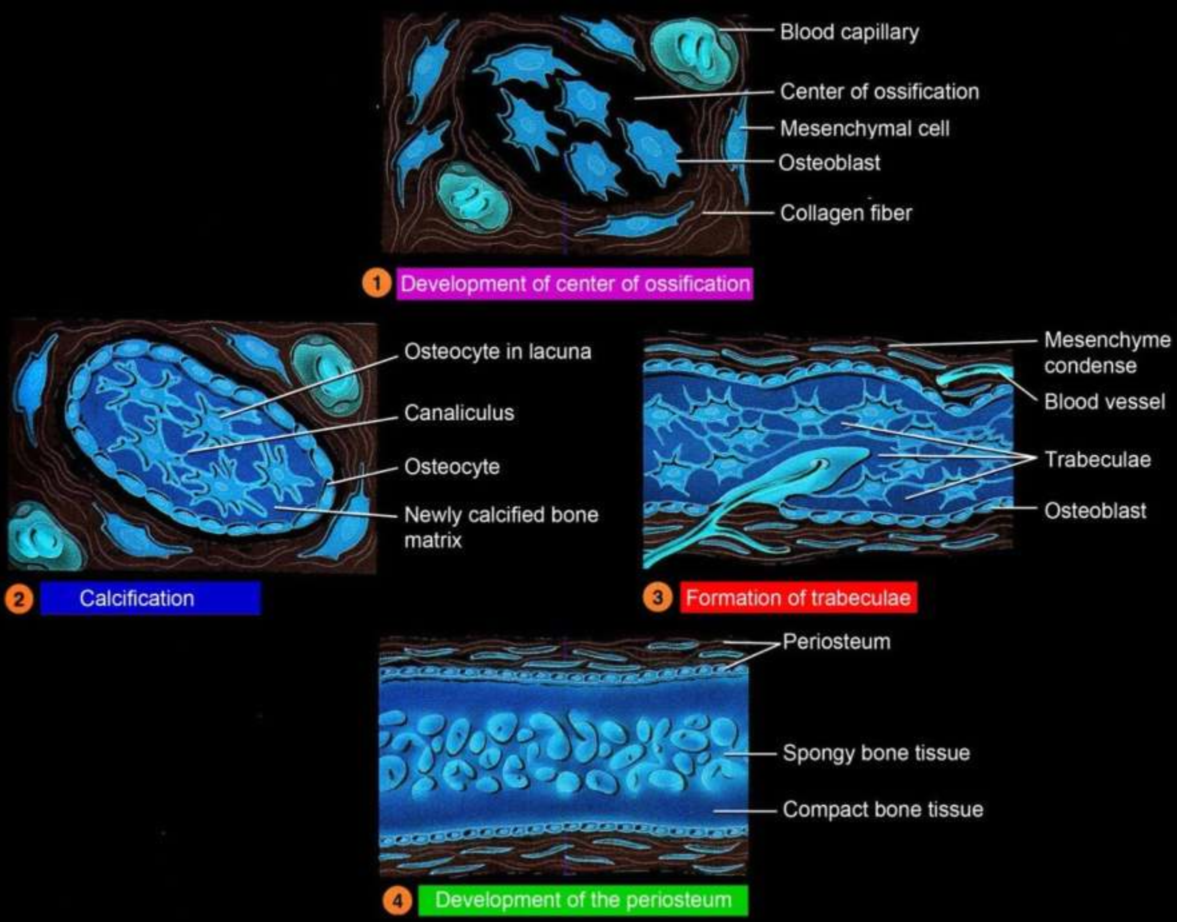
**5.4 Osteoclast** เป็นเซลล์ที่สามารถสร้างน้ำย่อยออกมาละลายกระดูก ทำให้กระดูกบางลง




รูปที่ 5-6 แสดงเซลล์ของกระดูกแข็ง

## 6. การเจริญเติบโตของกระดูกแข็ง มี 2 วิธี

**6.1 Intramembranous (periosteal) ossification** พบในกระดูกแข็งชนิดแบน และผิวของกระดูกยาว เริ่มจากเซลล์กระดูกอ่อน เรียกว่า mesenchymal cells มาเรียงตัวอัดแน่นกันเป็นแผ่น ต่อมาเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็น osteoblast ทำหน้าที่สร้าง bone matrix ออกมา และเกิดการสะสมของแคลเซียมได้เนื้อกระดูกแข็ง การเกิดโดยวิธีนี้เกิดได้หลายตำแหน่งพร้อมกัน ทำให้ได้กระดูกแข็งชิ้นเล็กๆ (trabeculae) เรียงตัวประสานกันกันได้เป็นกระดูกฟองน้ำ (spongy) ต่อมามีการจัดเรียงตัวด้านนอกของกระดูกฟองน้ำกลายเป็นกระดูกแข็ง (compact bone)

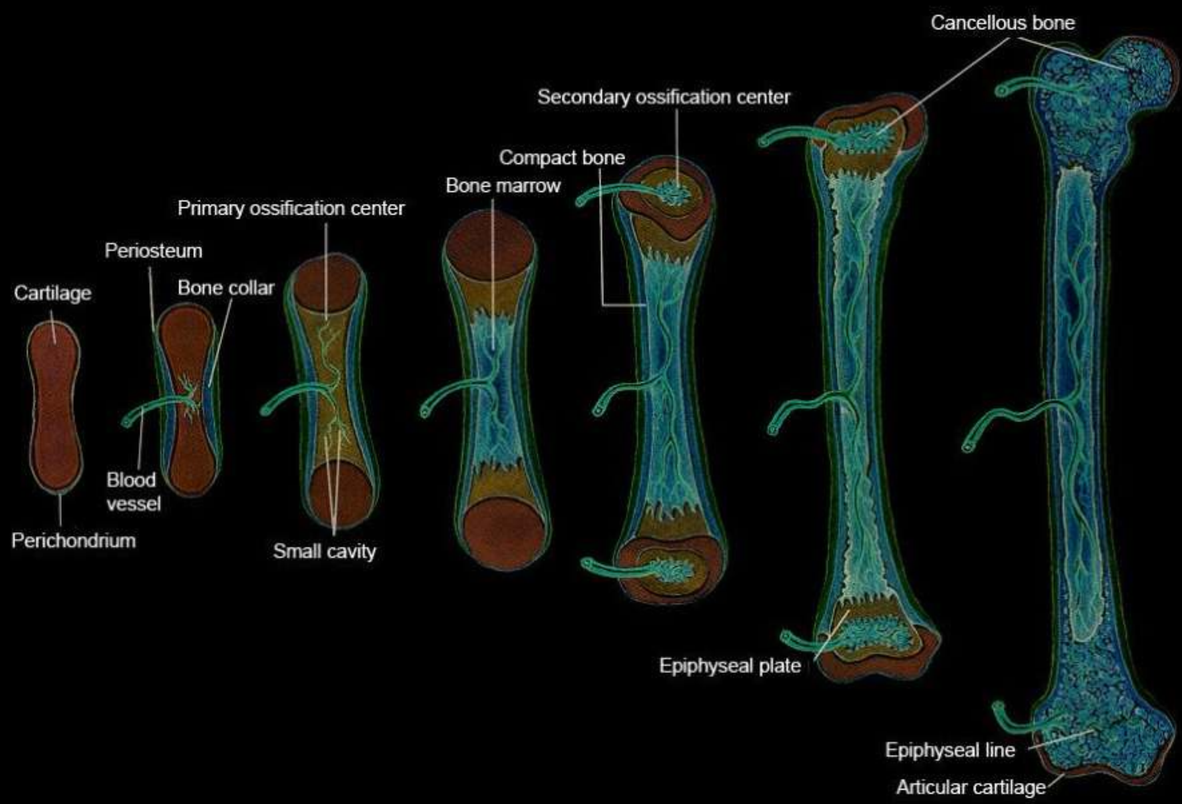



รูปที่ 5-7 แสดงการเจริญเติบโตของกระดูกแข็ง Intramembranous (periosteal) ossification

**6.2 Endochondral (intracartilagenous) ossification** เป็นการเกิดกระดูกแข็งแทนที่ในแม่ พิมพ์ที่เป็นกระดูกอ่อน พบในกระดูกที่มีลักษณะยาว

**1) Diaphysis หรือ Primary ossification** เกิดที่บริเวณลำตัวของกระดูกอ่อนที่เป็นแม่พิมพ์ โดยจะมีการเกิดการสะสมของแคลเซียมในเนื้อกระดูกอ่อน เมื่อเซลล์กระดูกอ่อนตายจะเกิดช่องว่างเล็กๆ ต่อมามีหลอดเลือดแทรกเข้ามาตามช่องพรุนๆ นำเซลล์ต้นกำเนิดของกระดูกแข็งเข้าไปตรงกลางของแท่งกระดูก

**2) Epiphyseal หรือ Secondary ossification** เกิดที่ส่วนปลายทั้ง 2 ข้างของกระดูกอ่อนที่เป็นแม่พิมพ์ กระบวนการเกิดคล้ายกับ Diaphysis ossification โดยมีการขยายไปชิดกับ Diaphysis ossification มีกระดูกอ่อน epiphyseal plate กั้น แผ่นกระดูกอ่อนนี้ จะคงอยู่และเพิ่มความยาวให้กับกระดูกจนกว่าร่างกายจะหยุดการเจริญเติบโต




รูปที่ 5-8 แสดงการเจริญเติบโตของกระดูกแข็ง Endochondral ossification

## 7. ชนิดของกระดูกแข็ง (Type of bones)

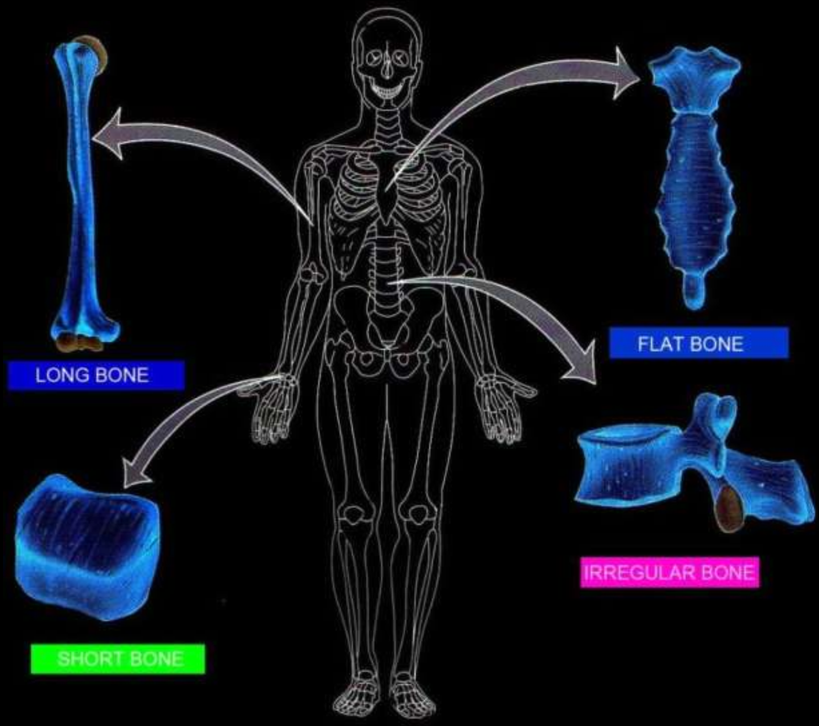
กระดูกแข็ง สามารถแบ่งตามลักษณะรูปร่างเป็น 4 ชนิด ได้แก่

**7.1 กระดูกแข็งยาว (Long bone)** หมายถึง กระดูกที่มีความยาวมากกว่าความกว้าง เช่น กระดูกแขน

**7.2 กระดูกแข็งสั้น (Short bone)** หมายถึง กระดูกที่มีความยาวและความกว้างใกล้เคียงกัน เช่น กระดูกข้อมือ ข้อเท้า

**7.3 กระดูกแข็งที่มีรูปร่างแบน บาง (Flat bone)** เช่น กระดูกกะโหลกศีรษะ ซี่โครง สะบัก

**7.4 กระดูกรูปร่างแปลก ๆ** (Irregular bone) มีรูปร่างไม่แน่นอน เช่น กระดูกสะโพก กระดูกสันหลัง ส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อและเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวบริเวณข้อต่อ




รูปที่ 5-9 แสดงกายวิภาคของกระดูกแข็ง

## 8. ข้อต่อ (Articulation, Joint)

ส่วนของโครงกระดูกจะยึดกันด้วยเนื้อยึดต่อที่ประกอบด้วยเส้นใยหรือกระดูกอ่อน ตำแหน่งที่กระดูกมาต่อกัน เรียกว่า ข้อต่อ ซึ่งจะมีพังผืด เอ็น กล้ามเนื้อ หุ้มอยู่รอบข้อต่อ ข้อต่อแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะทางกายวิภาค ได้แก่

**8.1 Fibrous joint** ข้อต่อชนิดนี้ กระดูกที่มาต่อกันจะถูกยึดติดกันอย่างแน่นหนา ทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างกระดูก ข้อต่อจะเคลื่อนไหวได้น้อย หรือไม่ได้เลย มีลักษณะแตกต่างกัน 3 แบบ

**1) Suture** ได้แก่ ข้อต่อระหว่างกระดูกกะโหลกศีรษะ

**2) Syndesmoses** ข้อต่อยึดกันแน่นด้วยเนื้อยึดต่อแผ่นบางๆ เช่น ข้อต่อระหว่างกระดูก radius และ ulna สามารถเคลื่อนไหวได้เล็กน้อย

**3) Gomphoses** ได้แก่ ข้อต่อระหว่างรากฟันกับร่องของกระดูกขากรรไกร ข้อต่อชนิดนี้เคลื่อนไหวไม่ได้

**8.2 Cartilagenous joint** เป็นข้อต่อชนิดที่กระดูกที่มาประกอบกันเป็นข้อต่อถูกยึดไว้ด้วยกระดูกอ่อน ไม่มีช่องว่างระหว่างกระดูก แบ่งได้เป็น 2 แบบ

**1) Synchondroses** กระดูกแข็งที่มาประกอบเป็นข้อต่อ ถูกยึดไว้ด้วย กระดูกอ่อนชนิด hyaline ได้แก่ ข้อต่อระหว่างกระดูกแข็ง บริเวณ diaphysis ของกระดูกแข็งยาวกับกระดูกแข็งส่วน epiphysis ที่มี epiphyseal ช่วยยึดติด

**2) Symphyses** กระดูกแข็งที่มาประกอบเป็นข้อต่อถูกยึดไว้ด้วย กระดูกอ่อนชนิด fibrocartilage เช่น pubic symphysis

**8.3 Synovial joint** เป็นข้อต่อชนิดที่มีช่องว่างแทรกอยู่ระหว่างกระดูก 2 ชิ้น และมีเปลือกหุ้ม เรียกว่า articular capsule ช่องว่างที่อยู่ภายในเปลือกหุ้มนี้ เรียกว่า **synovial joint (cavity)** ภายในบรรจุของเหลว เรียกว่า **synovial fluid** ทำหน้าที่ช่วยในการหล่อลื่น ลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของ synovial joint คือบริเวณปลายของกระดูกแข็งที่มาต่อกัน จะมีกระดูกอ่อนมาคลุม เรียกว่า **articular cartilage** ช่วยลดการเสียดสีระหว่างการเคลื่อนไหว ข้อต่อชนิด synovial joint แบ่งออกเป็น 6 ชนิด โดยอาศัยรูปร่างของผิวสัมผัส ได้แก่

**1) Gliding joint** ผิวกระดูกที่มาสัมผัสกัน มีลักษณะเรียบ การเคลื่อนไหวเป็นแบบเลื่อนไปมา เช่น ข้อมือ ข้อเท้า

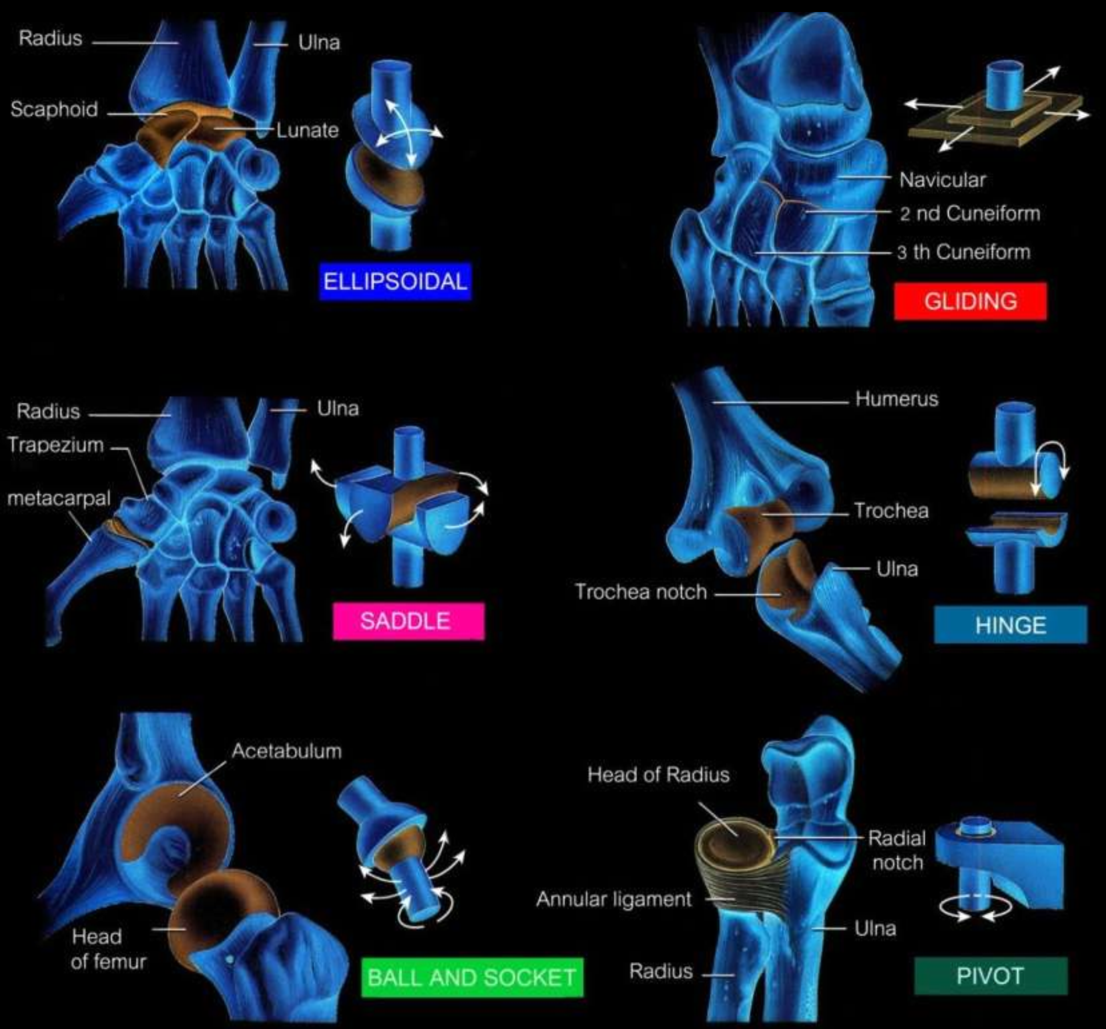
**2) Hinge joint** ผิวสัมผัสด้านหนึ่งมีลักษณะโค้งนูน อีกด้านหนึ่งเป็นแอ่งเว้าลงไป เช่น ข้อศอก เข่า

**3) Pivot joint** ปลายด้านหนึ่งมีลักษณะกลม สวมเข้าไปในวงแหวน เช่น รอยต่อระหว่างกระดูกคอชิ้นที่ 1 และ 2

**4) Ellipsoidal joint** ผิวด้านหนึ่งมีลักษณะนูนโค้ง สวมเข้าไปในแอ่งเว้ารูปรี พบที่รอยต่อของกระดูก radius กับ กระดูกข้อมือ

**5) Saddle joint** ปลายกระดูกด้านหนึ่งเหมือนอานม้า อีกด้านหนึ่งเหมือนคนขี่ม้า นั่งบนอาน พบที่รอยต่อของกระดูก trapezium ของกระดูกข้อมือกับ metacarpal ชิ้นที่ 1

**6) Ball and Socket** ปลายด้านหนึ่งเหมือนลูกบอล สวมไปในแอ่งเว้า พบที่ข้อไหล่และข้อสะโพก




รูปที่ 5-10 แสดงข้อต่อของ synovial joint

## 9. คำที่ใช้อธิบายส่วนต่างๆ ของกระดูก

กระดูกแข็ง จะมีลักษณะที่ปรากฏแตกต่างกัน และมีคำเฉพาะในการเรียกที่พบบ่อย ได้แก่

### 9.1 คำที่ใช้เรียกส่วนสำคัญของกระดูก

Body ส่วนลำตัวของกระดูก เช่น body of femur (ตัวของกระดูก femur)

Head ส่วนหัวกระดูก เช่น head of femur (ส่วนหัวของกระดูกต้นขา)

Neck ส่วนคอของกระดูก เช่น neck of femur (ส่วนคอของกระดูกต้นขา)

Angle มุมกระดูก เช่น angle of mandible (มุมกระดูกขากรรไกร)

Condyle ส่วนกลมมนที่ยื่นออกไปต่อกับกระดูกชิ้นอื่น เช่น femoral condyle (ปุ่มกลมมนของปลายกระดูกต้นขา)

### 9.2 คำที่ใช้เรียกสันกระดูก

Linea สันเป็นแนวเส้น

Crest ส่วนยื่นเป็นสัน เช่น iliac crest (สันของกระดูก ilium)

Spine ส่วนยื่นเป็นสันบาง เช่น thoracic spine (กระดูกสันหลังส่วนอก)

### 9.3 คำที่ใช้เรียกส่วนยื่น

Trochanter ปุ่มนูนขนาดใหญ่ เช่น greater trochanter (ปุ่มนูนขนาดใหญ่ที่กระดูกต้นขา)

Tuberosity ปุ่มนูนขนาดใหญ่ขรุขระ เช่น ischial tuberosity (ปุ่มที่กระดูก ischium)

Tubercle ปุ่มขนาดเล็กและมนกลม เช่น greater tubercle (ปุ่มที่กระดูกต้นแขน)

Process ส่วนที่ยื่นออกมาชัดเจน เช่น olecranon process ของกระดูกแขนด้านใน

Epicondyle ปุ่มที่อยู่ปลายส่วนกระดูก และอยู่ทางด้านข้างของ condyle

Cornu ลักษณะเหมือนเขา

### 9.4 รูหรือรูเปิด

Foramen รูซึ่งอยู่ที่กระดูก เช่น foramen magnum (รูที่กระดูก occipital bone)

Canal หรือ Meatus ช่องเล็กๆ เช่น external auditory meatus (ช่องหูชั้นนอก)

Fissure รอยแตกแคบ ๆ ที่กระดูก

Sinus โพรงอากาศที่อยู่ในกระดูก เช่น frontal sinus (โพรงอากาศเหนือคิ้ว)

### 9.5 รอยกด รอยยุบ

Notch ส่วนเว้าเล็กๆ บนขอบกระดูก

Fossa แอ่งบนกระดูก

Groove หรือ Sulcus ร่องตื้นๆ เป็นแนวยาว

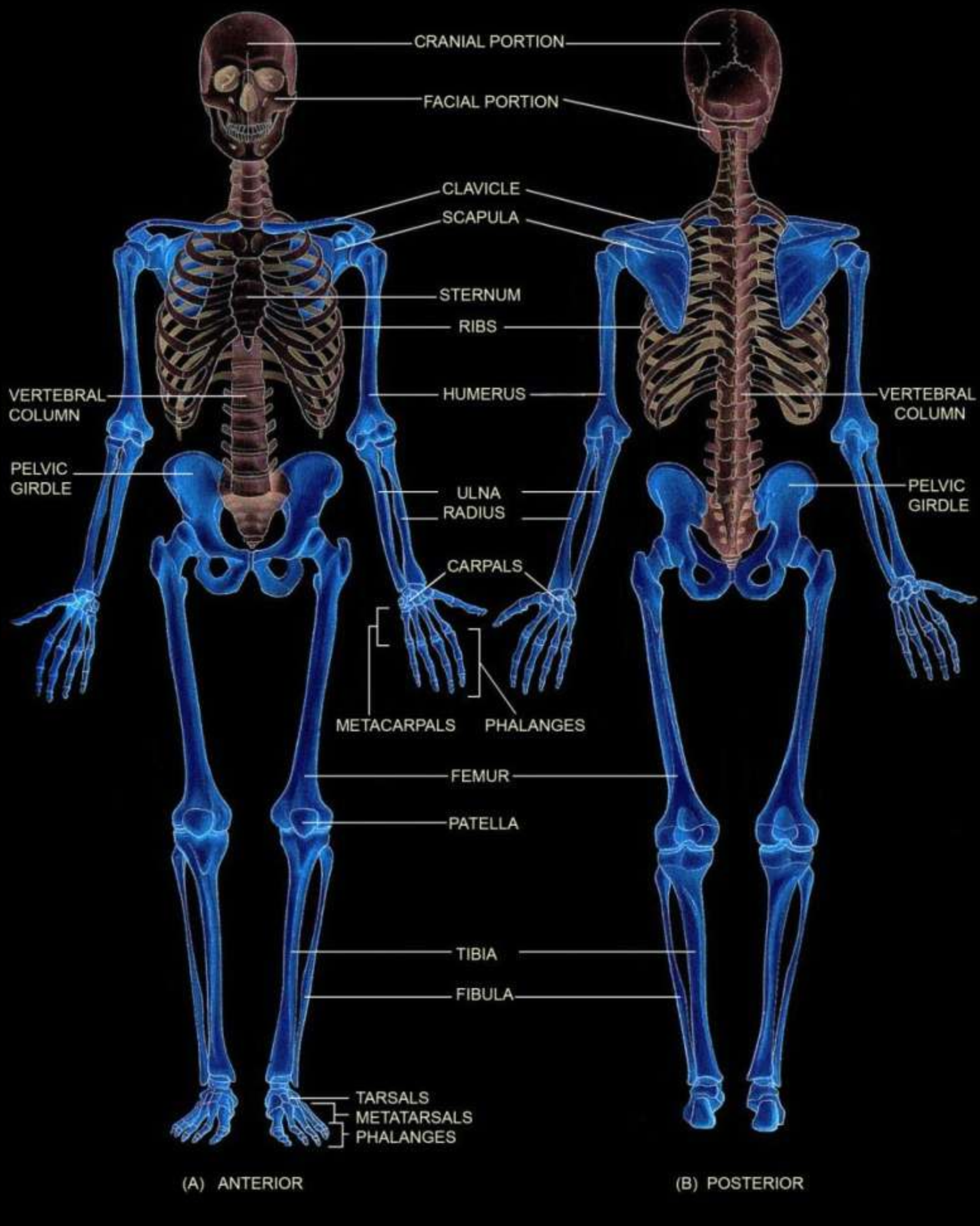
Fovea หลุมเล็ก ๆ

# ตอนที่ 2
# กระดูกของร่างกายมนุษย์

กระดูกแข็งที่ประกอบเป็นระบบโครงร่างของร่างกายมนุษย์มีทั้งหมด 206 ชิ้น แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Axial skeleton (กระดูกแกน) และ Appendicular skeleton (กระดูกรยางค์)

## Axial skeleton (กระดูกแกน)

Axial skeleton หมายถึง กระดูกแข็งที่อยู่ในส่วนแกนกลางของร่างกาย ทำหน้าที่เป็นโครงร่างค้ำจุน ป้องกันอวัยวะภายในต่างๆ เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนไหว การหายใจ และรักษาท่าทางของร่างกาย




รูปที่ 5-11 แสดงกายวิภาคของร่างกายมนุษย์ทางด้านหน้า (A) และด้านหลัง (B)

**กระดูกแกน ประกอบด้วยกระดูก 80 ชิ้น ได้แก่**

1. **Skull** (กะโหลกศีรษะ) จำนวน 22 ชิ้น ประกอบด้วย
    - 1.1 **Cranial bones** (กะโหลกศีรษะส่วนครอบ) จำนวน 8 ชิ้น
    - 1.2 **Facial bones** (กระดูกใบหน้า) จำนวน 14 ชิ้น
2. **Auditory ossicles** (กระดูกหู) จำนวน 6 ชิ้น
3. **Hyoid bone** (กระดูกคอหรือกระดูกโคนลิ้น) จำนวน 1 ชิ้น
4. **Thorax** (กระดูกอก) จำนวน 25 ชิ้น ประกอบด้วย
    - 4.1 **Ribs** (กระดูกซี่โครง) จำนวน 24 ชิ้น
    - 4.2 **Sternum** (กระดูกหน้าอก) จำนวน 1 ชิ้น
5. **Vertebrae** (กระดูกสันหลัง) จำนวน 26 ชิ้น ประกอบด้วย
    - 5.1 **Cervical vertebrae** (กระดูกสันหลังส่วนคอ) จำนวน 7 ชิ้น
    - 5.2 **Thoracic vertebrae** (กระดูกสันหลังส่วนอก) จำนวน 12 ชิ้น
    - 5.3 **Lumbar vertebrae** (กระดูกสันหลังส่วนเอว) จำนวน 5 ชิ้น
    - 5.4 **Sacral vertebrae, Sacrum** (กระดูกกระเบนเหน็บ) จำนวน 1 ชิ้น
    - 5.5 **Coccyx** (กระดูกก้นกบ) จำนวน 1 ชิ้น

## Appendicular skeleton (กระดูกรยางค์)

เป็นกระดูกแข็งที่ประกอบเป็นรยางค์ และกระดูกแข็งที่ทำหน้าที่ยึดรยางค์ไว้กับร่างกาย

**กระดูกรยางค์ ประกอบด้วยกระดูก 126 ชิ้น ได้แก่**

1. **Shoulder girdle** (กระดูกช่วงไหล่) จำนวน 4 ชิ้น ประกอบด้วย
    - 1.1 Scapula (กระดูกสะบัก) จำนวน 2 ชิ้น
    - 1.2 Clavicle (กระดูกไหปลาร้า) จำนวน 2 ชิ้น
2. **Upper extremities** (กระดูกแขน) จำนวน 60 ชิ้น ประกอบด้วย
    - 2.1 Humerus (กระดูกต้นแขน) จำนวน 2 ชิ้น
    - 2.2 Ulna (กระดูกปลายแขนด้านใน) จำนวน 2 ชิ้น
    - 2.3 Radius (กระดูกปลายแขนด้านนอก) จำนวน 2 ชิ้น
    - 2.4 Carpal bones (กระดูกข้อมือ) จำนวน 16 ชิ้น
    - 2.5 Metacarpal bones (กระดูกฝ่ามือ) จำนวน 10 ชิ้น
    - 2.6 Phalanges (กระดูกนิ้วมือ) จำนวน 28 ชิ้น
3. **Lower extremities** (กระดูกขา) จำนวน 60 ชิ้น ประกอบด้วย
    - 3.1 Femur (กระดูกต้นขา) จำนวน 2 ชิ้น
    - 3.2 Fibula (กระดูกน่อง) จำนวน 2 ชิ้น
    - 3.3 Tibia (กระดูกหน้าแข้ง) จำนวน 2 ชิ้น
    - 3.4 Patella (กระดูกสะบ้า) จำนวน 2 ชิ้น
    - 3.5 Tarsal bones (กระดูกข้อเท้า) จำนวน 14 ชิ้น
    - 3.6 Metatarsal bones (กระดูกฝ่าเท้า) จำนวน 10 ชิ้น
    - 3.7 Phalanges (กระดูกนิ้วเท้า) จำนวน 28 ชิ้น
4. **Hip bone** (กระดูกสะโพก) จำนวน 2 ชิ้น

## กระดูกแกน
## (The axial skeletal)

### กะโหลกศีรษะ (Skull)

ประกอบด้วยกระดูกแข็ง 22 ชิ้น แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กะโหลกศีรษะส่วนครอบ (cranial bones) และกระดูกใบหน้า (facial bones) ทำหน้าที่เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อบริเวณศีรษะ ห่อหุ้มและปกป้องสมองที่อยู่ภายในไม่ให้ได้รับอันตรายจากแรงกระแทก ปกป้องอวัยวะที่ใช้ในการรับเสียงและการทรงตัว กระดูกใบหน้าเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดรูปหน้า เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อที่แสดงสีหน้า เป็นที่ยึดเกาะของฟัน นอกจากนี้ยังประกอบด้วยช่องว่างซึ่งเป็นที่อยู่ของอวัยวะรับความรู้สึกชนิดพิเศษ ได้แก่ การรับภาพ รับเสียง รับรส รับกลิ่น และการทรงตัว กะโหลกศีรษะประกอบด้วย

**1. Cranial bones** หมายถึง กระดูกศีรษะส่วนครอบ ประกอบด้วยกระดูกแข็ง 8 ชิ้น ได้แก่

| | |
|---|---|
| 1.1 Frontal bone | จำนวน 1 ชิ้น |
| 1.2 Parietal bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 1.3 Temporal bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 1.4 Occipital bone | จำนวน 1 ชิ้น |
| 1.5 Sphenoid bone | จำนวน 1 ชิ้น |
| 1.6 Ethmoid bone | จำนวน 1 ชิ้น |

**2. Facial bones** หมายถึง กระดูกใบหน้า ประกอบด้วยกระดูกแข็ง 14 ชิ้น ได้แก่

| | |
|---|---|
| 2.1 Nasal bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.2 Maxillae | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.3 Zygomatic bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.4 Mandible | จำนวน 1 ชิ้น |
| 2.5 Lacrimal bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.6 Palatine bones | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.7 Inferior nasal turbinate | จำนวน 2 ชิ้น |
| 2.8 Vomer | จำนวน 1 ชิ้น |

### กระดูกศีรษะส่วนครอบ (Cranial bones)

**1. Frontal bone** มี 1 ชิ้น ประกอบเป็นหลังคาของเบ้าตา และพื้นส่วนใหญ่ของกะโหลกศีรษะทางด้านหน้า ตรงหัวคิ้วจะมีโพรงอากาศอยู่ทั้งซ้ายและขวา เรียกว่า **frontal sinuses**

**2. Parietal bones** มี 2 ชิ้น ประกอบกันเป็นผนังด้านข้างและหลังคาของกะโหลกศีรษะ กระดูกมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโค้ง 2 ชิ้นซ้ายขวามาเชื่อมต่อกันตรงแนวกลางตัว เรียกรอยต่อนี้ว่า **sagittal suture** และมีรอยเชื่อมต่อกับกระดูก frontal bone ทางด้านหน้า เรียกรอยต่อนี้ว่า **coronal suture**

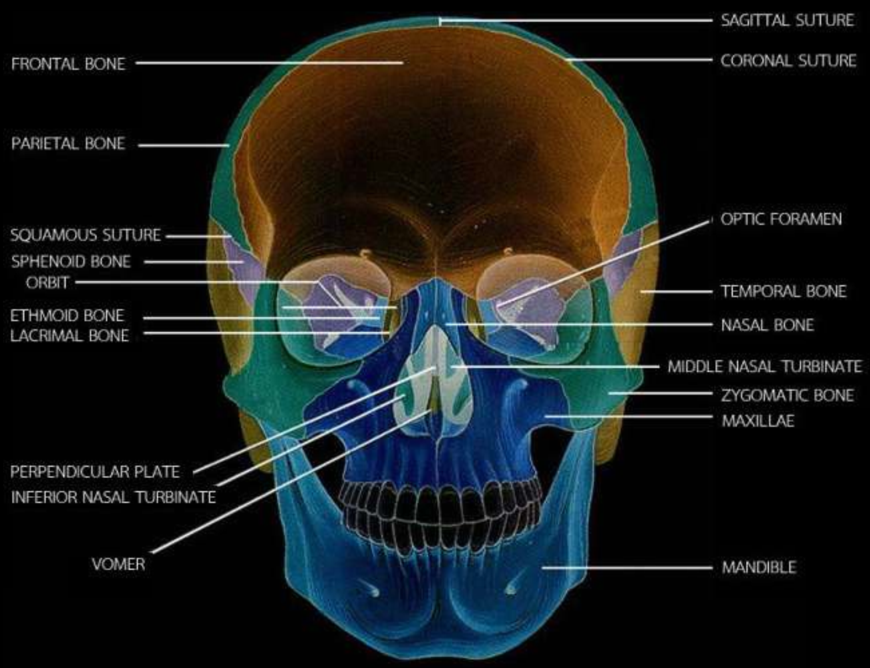
**3. Temporal bones** มี 2 ชิ้น ประกอบเป็นผนังและพื้นด้านข้างของกะโหลกศีรษะต่ำจาก parietal bone ลงมา กระดูก temporal มีลักษณะที่ค่อนข้างซับซ้อน แบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ 4 ส่วน ได้แก่

3.1 Squamous portion กระดูกค่อนข้างบางอยู่ทางด้านข้างของกะโหลกศีรษะและอยู่เหนือรูหู

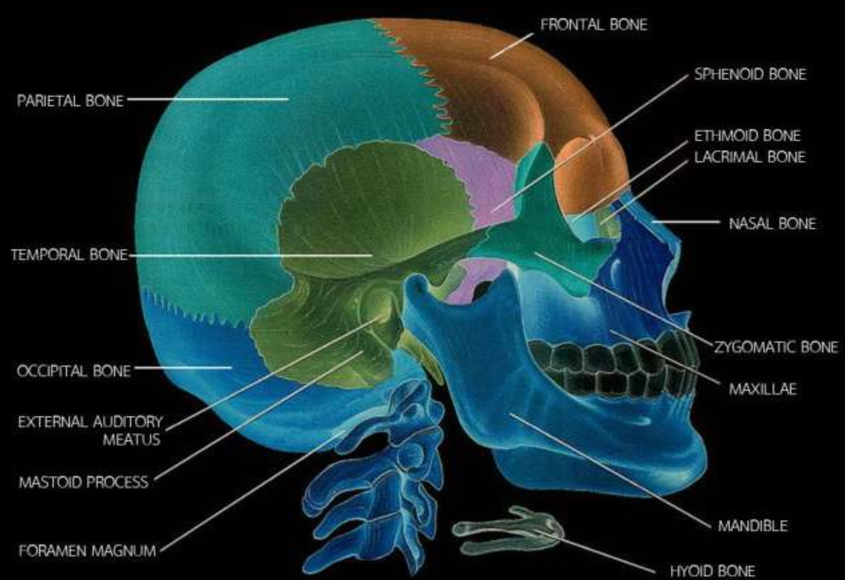
3.2 Petrous portion อยู่ที่ส่วนพื้นของกะโหลกศีรษะ กระดูกเป็นรูปสามเหลี่ยม ยกตัวสูงเป็นแนวยาวคล้ายภูเขา ภายในเป็นที่อยู่ของหูชั้นกลางและหูชั้นใน มีกระดูกหูบรรจุอยู่ข้างละ 3 ชิ้น คือ malleus (กระดูกรูปฆ้อน) incus (กระดูกทั่ง) และ stapes (กระดูกโกลน)

3.3 Mastoid portion อยู่ทางด้านหลังและด้านล่างต่อรูหู ด้านหลังใบหูมีปุ่มนูนกลมมน เรียกปุ่มกระดูก mastoid process ภายในมีโพรงอากาศเล็กๆ จำนวนมาก

3.4 Tympanic portion เป็นที่อยู่ของหูส่วนนอก ทางด้านล่างมีปุ่มกระดูกยาวแหลม เรียกว่า styloid process เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นของลิ้นและคอ นอกจากนี้ยังเป็นที่เกาะของเส้นเอ็นเพื่อยึดกระดูกโคนลิ้นไว้กับฐานของกะโหลกศีรษะ




รูปที่ 5-12 แสดงกายวิภาคของกะโหลกศีรษะทางด้านหน้า




รูปที่ 5-13 แสดงกายวิภาคของกะโหลกศีรษะทางด้านข้าง

**4. Occipital bone** หมายถึง กระดูกท้ายทอย มี 1 ชิ้น ประกอบเป็นพื้นทางด้านหลังของกะโหลกศีรษะเกือบทั้งหมด กระดูก occipital แยกออกจากกระดูก parietal โดยรอยต่อที่เรียกว่า **Lambdoid suture** ทางด้านล่างพบรูขนาดใหญ่ เรียกว่า **foramen magnum** เป็นทางเชื่อมต่อของสมองกับไขสันหลัง

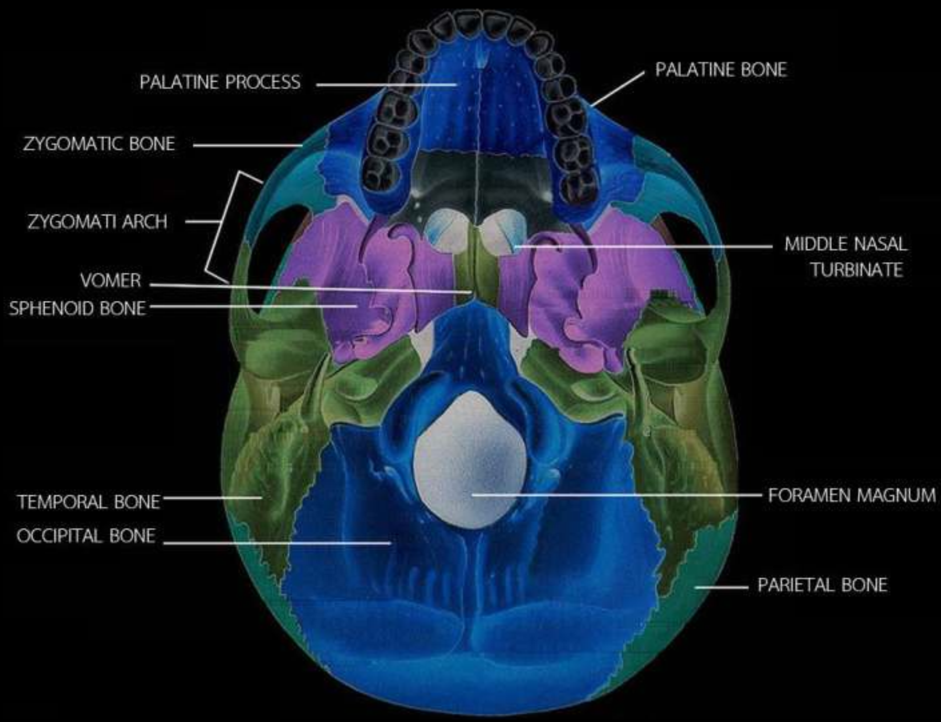
**5. Sphenoid bone** มี 1 ชิ้น วางตัวอยู่ตรงกลางของฐานกะโหลกศีรษะ กระดูกมีรูปร่างเหมือนผีเสื้อกางปีก แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

=> Body เป็นส่วนกลางอยู่เหนือจมูกค่อนไปทางด้านหลัง อยู่ระหว่างกระดูก ethmoid และ occipital ผิวด้านบนมีลักษณะเป็นแอ่งเว้าลึกคล้ายแอ่งม้า เรียกว่า sella turcica เป็นที่อยู่ของต่อมพิทูอิทารี

=> Greater wings เป็นปีกใหญ่ที่แผ่ออกไปด้านข้าง

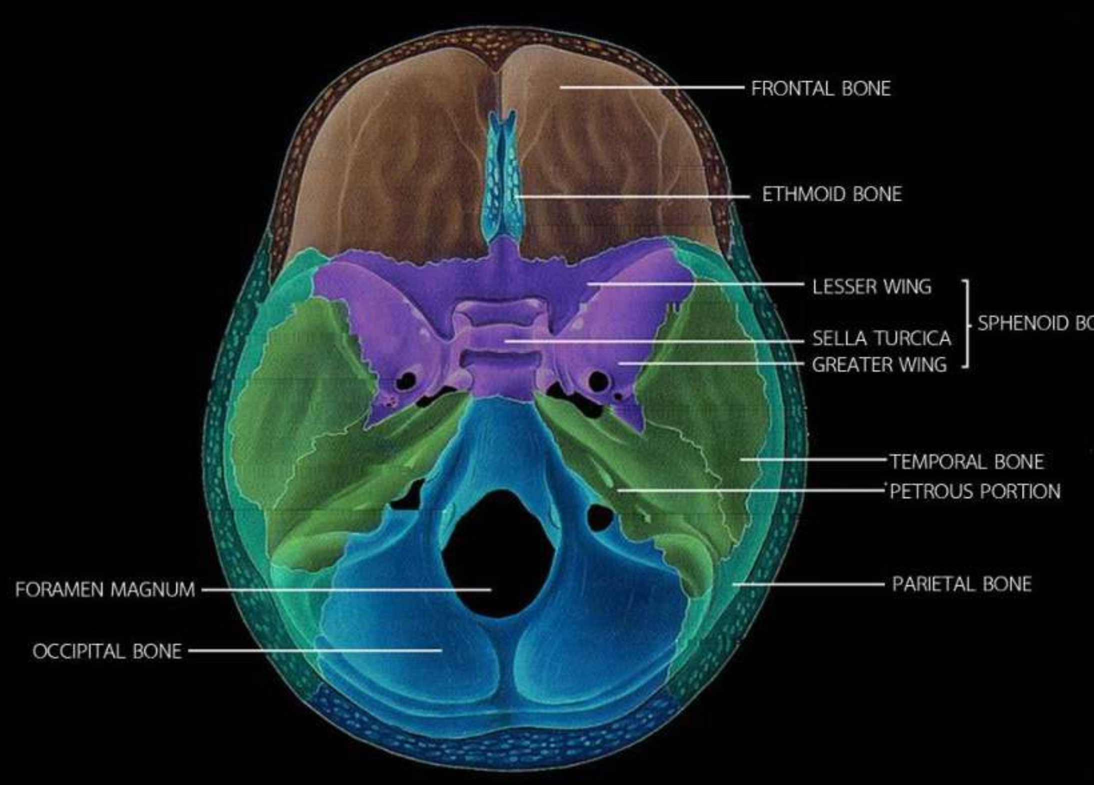
=> Lesser wings มีขนาดเล็กกว่า greater wings

**6. Ethmoid bone** มี 1 ชิ้น เป็นกระดูกที่ค่อนข้างบางและพรุนคล้ายฟองน้ำ เนื่องจากมีโพรงอากาศเล็กๆ เป็นจำนวนมาก วางตัวอยู่ตรงกลางทางด้านหน้าของพื้นกะโหลกศีรษะ และอยู่ระหว่างเบ้าตาทั้ง 2 ข้าง ประกอบเป็นผนังด้านในของเบ้าตาและหลังคาของโพรงจมูก ส่วนที่ประกอบเป็นหลังคาของโพรงจมูกเป็นกระดูกที่มีรูพรุน เรียกว่า cribriform plate เป็นทางผ่านของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 ซึ่งทำหน้าที่ในการรับกลิ่น




รูปที่ 5-14 แสดงกายวิภาคของกะโหลกศีรษะมองจากด้านล่าง

ตรงกึ่งกลางของ cribriform plate มีแผ่นกระดูกยื่นขึ้นมา 2 แผ่น แผ่นที่ยื่นขึ้นข้างบน เรียกว่า crista galli เป็นที่เกาะของเยื่อหุ้มสมอง อีกแผ่นยื่นลงล่าง เรียกว่า perpendicular plate ประกอบเป็นส่วนบนของแผ่นกั้นจมูก ส่วนของกระดูกที่อยู่ทางข้างของ cribriform plate มีโพรงอากาศอยู่ภายใน เรียกว่า ethmoid sinuses และมีแผ่นกระดูกม้วนยื่นเข้าไปทางด้านข้างของโพรงจมูกข้างละ 2 แผ่น แผ่นบน เรียกว่า superior nasal turbinate แผ่นล่าง เรียกว่า middle nasal turbinate แผ่นกระดูกเหล่านี้มีเยื่อบุโพรงจมูกคลุมทับและมีเมือกปกคลุมอยู่ การมีแผ่นกระดูกม้วนทำให้เกิดกระแสวนในขณะหายใจเข้า ฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนมากับอากาศจะถูกจับกับเมือกที่อยู่บนเยื่อบุ

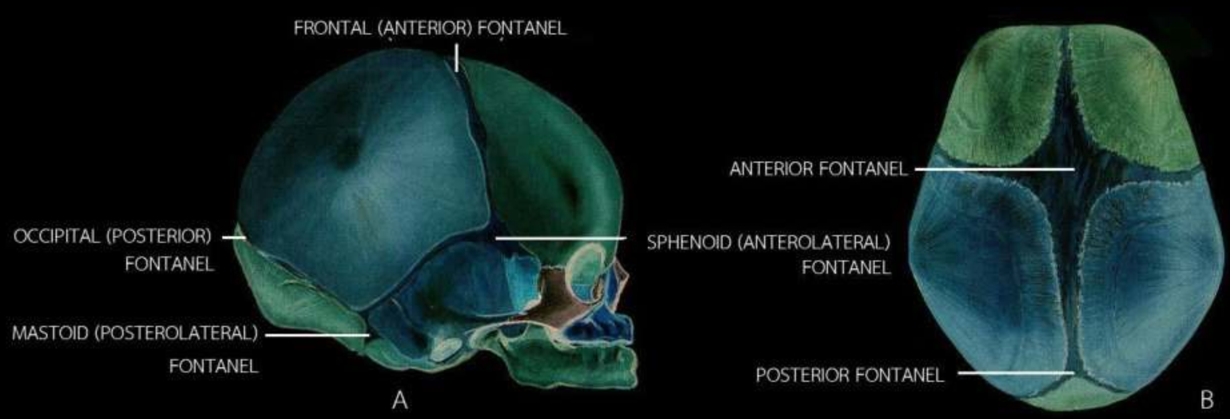



รูปที่ 5-15 แสดงกายวิภาคของกระดูก Sphenoid bone และกระดูก Ethmoid bone

**กระหม่อม (Fontanel) ในเด็กแรกเกิด**

ข้อต่อของกะโหลกศีรษะจะยังไม่เชื่อมติดกัน แต่จะถูกยึดติดกันไว้ด้วยกระดูกอ่อนหรือพังผืด คลำได้เป็นจุดนิ่มๆ บนกะโหลกศีรษะ เรียกว่า **กระหม่อม (fontanel)** ซึ่งมีประโยชน์สำคัญในระหว่างการคลอด และสามารถขยายออกเมื่อสมองมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในวัยทารก หลังจากนั้นกระหม่อมจะถูกพัฒนาเป็นกระดูกแข็ง เห็นเป็นรอยต่อของกะโหลกศีรษะ

ตำแหน่งของกระหม่อม ได้แก่ anterior fontanel, posterior fontanel, anterolateral fontanel และ posterolateral fontanel




รูปที่ 5-16 แสดงกายวิภาคของกระหม่อมทางด้านข้าง (A) และด้านบน (B)

**กระดูกใบหน้า (Facial bones)**

Facial bones สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงอายุ 1-2 ปี สมองและกะโหลกศีรษะขยายขึ้น ฟันมีการเจริญเติบโต โพรงอากาศรอบจมูกขยายโตขึ้น การเจริญของใบหน้าจะหยุดเมื่ออายุ 16 ปี กระดูกใบหน้าประกอบด้วยกระดูกแข็ง 14 ชิ้น ได้แก่

**1. Nasal bones** หมายถึง กระดูกจมูก มี 2 ชิ้น อยู่ตรงกลางส่วนบนของใบหน้า ประกอบกันเป็นส่วนดั้งของจมูก

**2. Maxillae** หมายถึง กระดูกกรามบน มี 2 ชิ้นมาเชื่อมต่อกันตรงกลาง กระดูก maxillae แต่ละข้างมีโพรงอากาศรูปสามเหลี่ยมขนาดใหญ่ เรียกว่า maxillary sinus ซึ่งมีรูเปิดติดต่อกับโพรงจมูก ขอบล่างเป็นที่อยู่ของร่องฟัน ด้านในมีแผ่นกระดูกยื่นเข้าไปในช่องปาก เรียกว่า palatine process ประกอบเป็นส่วนหน้าประมาณ 3/4 ของเพดานแข็ง

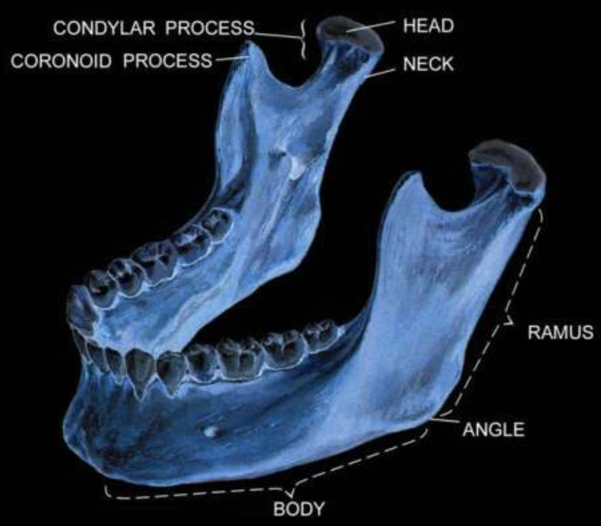
**3. Zygomatic bones** หมายถึง กระดูกโหนกแก้ม มี 2 ชิ้น ประกอบเป็นพื้นทางด้านล่างและด้าน ข้างของเบ้าตา

**4. Mandible** หมายถึง กระดูกกรามล่าง เป็นกระดูกใบหน้าที่มีขนาดใหญ่และแข็งแรงที่สุด และเป็นกระดูกใบหน้าเพียงชิ้นเดียวที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

=> **Body** เป็นส่วนที่อยู่ในแนวราบ ลักษณะโค้ง

=> **Ramus** เป็นส่วนที่ต่อจาก body ออกไปทั้ง 2 ข้างตามแนวตั้ง ส่วนปลายบนของ ramus แต่ละข้างจะมีกระดูก 2 ปุ่ม ปุ่มที่อยู่ทางด้านหน้า เรียกว่า coronoid process ปุ่มทางด้านหลัง เรียกว่า condylar process

=> **Angle** เป็นส่วนต่อระหว่าง body กับ ramus




รูปที่ 5-17 แสดงกายวิภาคของกระดูกกรามล่าง

**5. Lacrimal bones** หรือ กระดูกน้ำตา มี 2 ชิ้น เป็นกระดูกที่มีขนาดเล็กที่สุดของกระดูกใบหน้าและบางมาก ลักษณะคล้ายเล็บมือ ประกอบเป็นผนังด้านในของเบ้าตา บนกระดูกจะมีร่องเล็ก ๆ เป็นทางผ่านของท่อน้ำตานำน้ำตาจากถุงน้ำตา ที่อยู่เหนือคิ้วลงสู่จมูก

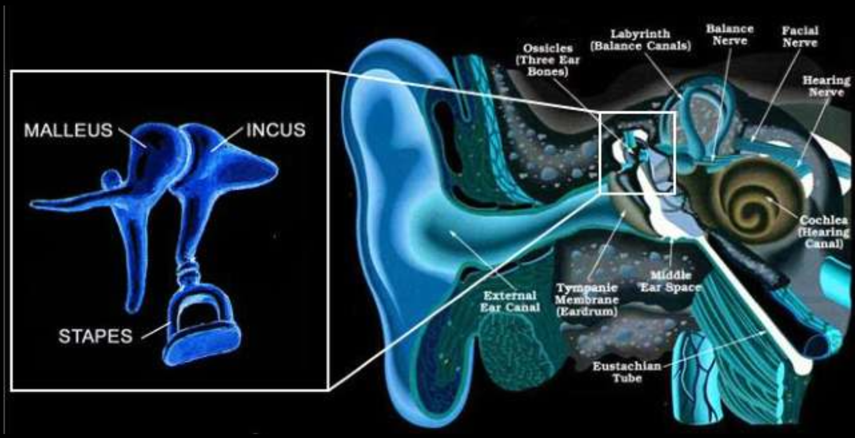
**6. Palatine bones** มี 2 ชิ้น มีลักษณะคล้ายพยัญชนะตัวแอล (L) เมื่อประกอบกับ palatine process ของกระดูก maxillae ทำให้เกิดเป็นเพดานแข็ง กระดูก palatine bones มีตำแหน่ง 1/3 ทางด้านหลังของเพดานแข็ง

**7. Inferior nasal turbinate** เป็นแผ่นกระดูกที่มีลักษณะขดม้วนยื่นออกมาจากผนังด้านข้างของโพรงจมูก ช่วยให้อากาศที่หายใจเข้าไปเกิดเป็นกระแสวนภายในโพรงจมูก ช่วยกักฝุ่นละอองและเชื้อโรคที่ปะปนมากับอากาศไม่ให้เข้าปอด

**8. Vomer** เป็นกระดูกรูปสามเหลี่ยม วางตัวอยู่ด้านล่างและค่อนไปทางด้านหลังของแผ่นกั้นจมูก ด้านหน้าเชื่อมต่อกับกระดูกอ่อนของแผ่นกั้นจมูก

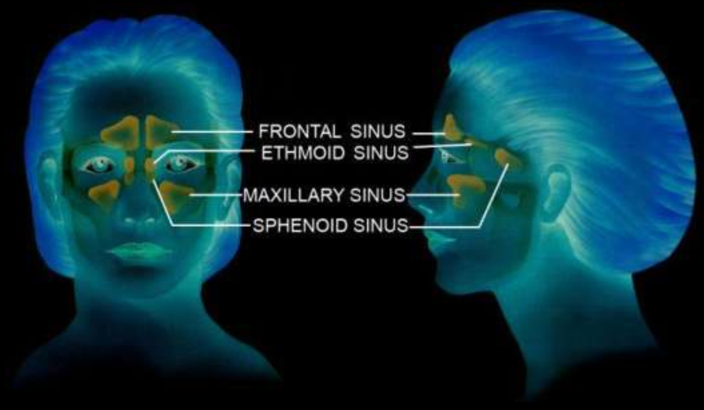
## กระดูกหู (Ear ossicles)

หมายถึง กระดูกหู พบอยู่ในหูส่วนกลาง มีจำนวนข้างละ 3 ชิ้น ได้แก่ Malleus (กระดูกค้อน) กระดูกทั่ง (incus) และกระดูกโกลน (stapes) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณคลื่นเสียง




รูปที 5-18 แสดงกายวิภาคของกระดูกหู

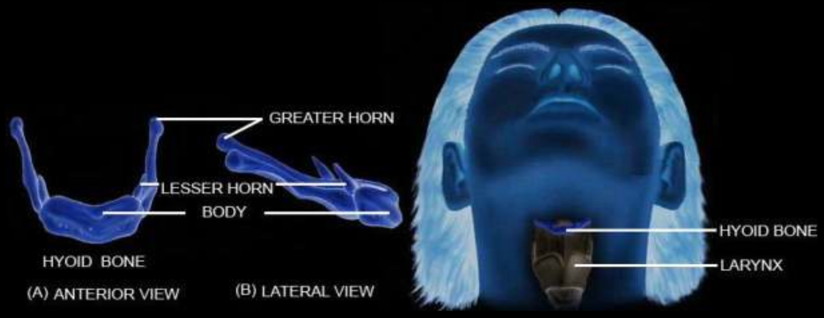
**Paranasal sinuses** หมายถึง โพรงอากาศรอบจมูก ได้แก่ frontal sinuses, sphenoid sinuses, ethmoid sinuses และ maxillary sinuses โพรงอากาศเหล่านี้ ช่วยทำให้เกิดเสียงก้อง




รูปที่ 5-19 แสดงลักษณะและตำแหน่งของ Hyoid bone

## กระดูกโคนลิ้น (Hyoid bone)

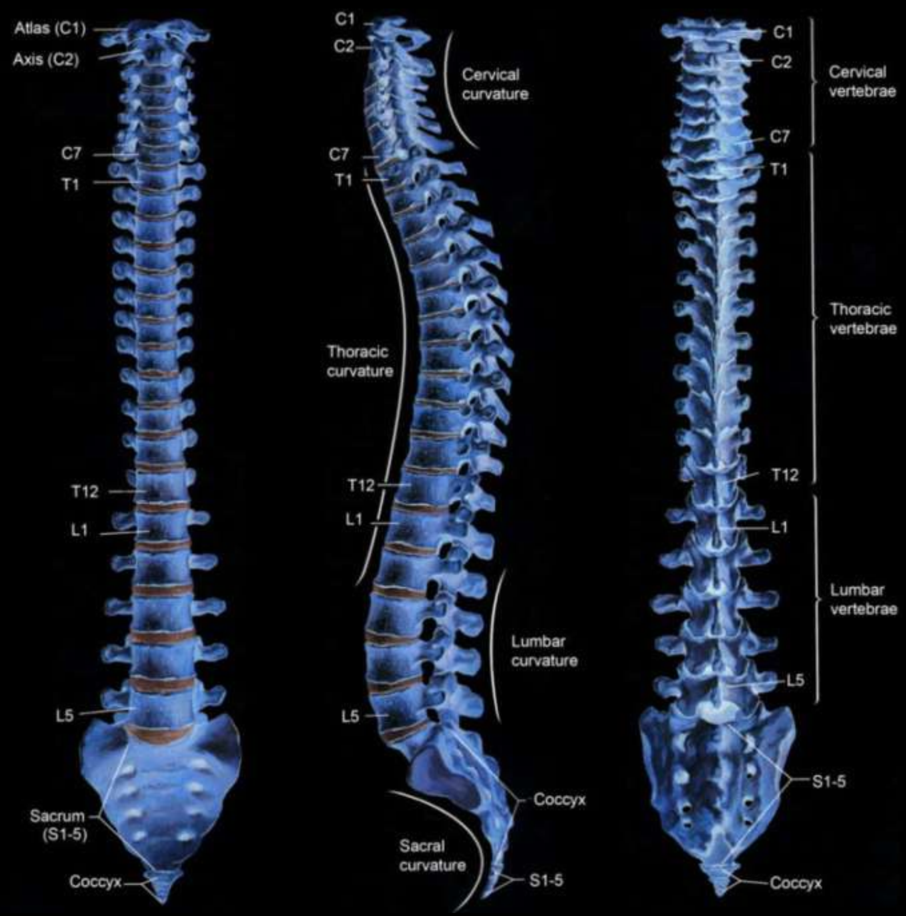
รูปร่างคล้ายตัวยู (U) อยู่ที่บริเวณคอ เหนือต่อกล่องเสียงและไม่ติดต่อกับกระดูกอื่นๆ เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อคอและกล้ามเนื้อลิ้น และช่วยในการยกตัวของกล่องเสียงในขณะพูดและกลืนอาหาร




รูปที่ 5-20 แสดงลักษณะและตำแหน่งของ Hyoid bone

## กระดูกสันหลัง (Vertebrae)

กระดูกสันหลังในเด็กมีจำนวน 33 ชิ้น และเมื่อโตเป็นผู้ใหญ่จะเชื่อมต่อกันเหลือเพียง 26 ชิ้น แต่ละชิ้นเรียงตัวต่อกันลักษณะเป็นแท่งยาว เรียกว่า vertebral column กระดูกสันหลังทำหน้าที่ป้องกันอันตรายต่อไขสันหลัง ค้ำจุนร่างกายและศีรษะ ช่วยถ่ายเทน้ำหนักจากส่วนบนของร่างกายลงสู่เท้าและขา รวมทั้งเป็นที่ยึดเกาะของกระดูกซี่โครงและกล้ามเนื้อต่าง ๆ




รูปที่ 5-21 แสดงกายวิภาคของกระดูกสันหลังด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลัง

**รูปร่างโดยทั่วไปของกระดูกสันหลัง**

กระดูกสันหลังแต่ละส่วนมีความแตกต่างกันที่ขนาด รูปร่าง และรายละเอียดบางอย่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยทั่วไปกระดูกสันหลังมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายกัน ดังนี้

**1. Body** หมายถึง ส่วนลำตัว ลักษณะเป็นแผ่นกลมหนา ผิวด้านบนและด้านล่างขรุขระ สำหรับเป็นที่เกาะของหมอนรองกระดูก (intervertebral disc) ทำหน้าที่รับน้ำหนัก

**2. Vertebral arch** เป็นแท่งกระดูกโค้งที่ติดอยู่ด้านหลังของ body ประกอบด้วย Pedicle เป็นแท่งกระดูกหนา สั้น ยื่นออกจากส่วนหลังทั้ง 2 ข้างของส่วนลำตัว ออกไปเชื่อมต่อกับเป็นแผ่นกระดูกแบนที่ เรียก Lamina

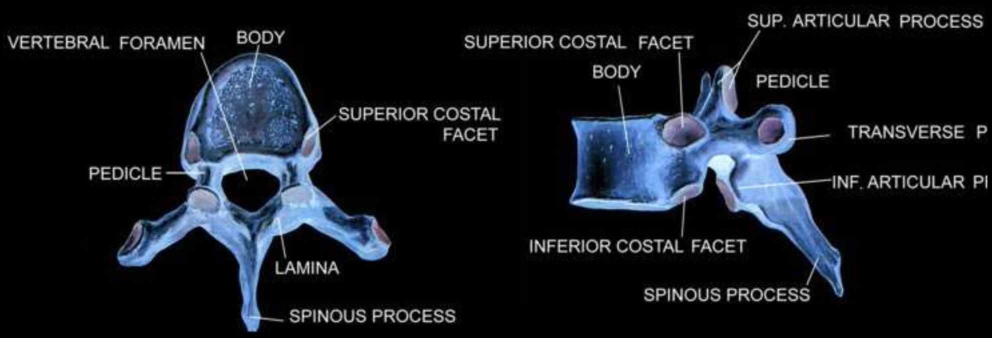
ช่องที่ล้อมรอบ body กับ vertebral arch เรียกว่า vertebral foramen เป็นที่อยู่ของไขสันหลัง ขอบบนล่างของ pedicle มีรอยเว้า เมื่อกระดูกมาเรียงต่อกัน จะเกิดเป็นช่อง เรียกว่า intervertebral foramen เป็นทางผ่านของเส้นประสาทไขสันหลัง

**3. Process** เป็นปุ่มกระดูกที่ยื่นออกจาก vertebral arch มีจำนวน 7 อัน คือ

3.1 Transverse process เป็นปุ่มกระดูกที่ยื่นออกทางด้านข้างทั้ง 2 ข้าง

3.2 Spinous process เป็นปุ่มกระดูกที่ยื่นออกจากกึ่งกลางของ vertebral arch ออกไปทางด้านหลัง และชี้ลงด้านล่าง

3.3 Articular process มี 4 อัน อยู่ทางด้านบน 2 อัน เรียกว่า superior articular facets และทางด้านล่าง 2 อัน เรียกว่า inferior articular facets สำหรับเชื่อมต่อกับกระดูกสันหลังที่อยู่ติดกัน




รูปที่ 5-22 แสดงกายวิภาคของกระดูกสันหลัง

**กระดูกสันหลังส่วนคอ (Cervical vertebrae, Cervical spine, C-spine)**

กระดูกสันหลังส่วนคอมี 7 ชิ้น ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างค้ำจุนคอและศีรษะ เรียกชื่อเรียงจากบนลงล่าง ตาม ลำดับ ได้แก่ Cervical vertebrae 1-7 (C1-C7) ลักษณะสำคัญกระดูกสันหลังส่วนคอ คือ

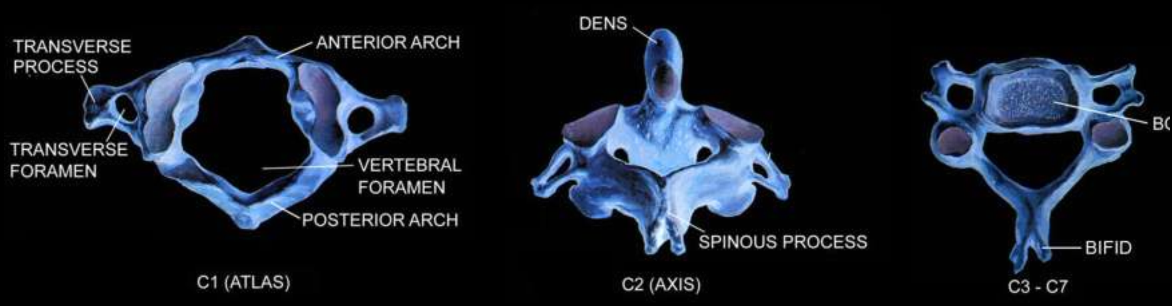
1. Body มีขนาดเล็ก

2. Transverse process ระดับ C1-C6 มีรูเรียกว่า transverse foramen รูนี้เป็นทางผ่านของหลอดเลือดแดงขึ้นไปเลี้ยงสมอง

3. Spinous process ระดับ C2-C6 ค่อนข้างสั้นและปลายแยกเป็น 2 แฉก ยกเว้น C7

Cervical vertebrae อันที่ 1 (C-1) มีชื่อเฉพาะเรียกว่า Atlas ทำหน้าที่รับน้ำหนักกะโหลกศีรษะ กระดูกมีรูปร่างคล้ายวงแหวน ไม่มีส่วน body และ spinous process

Cervical vertebrae อันที่ 2 (C-2) มีชื่อเฉพาะเรียกว่า Axis มีปุ่มยื่นขึ้นมาจาก body ขึ้นมาด้านบน เรียกว่า dens หรือ odontoid process




รูปที่ 5-23 แสดงกายวิภาคของกระดูกสันหลังส่วนคอ

**กระดูกสันหลังส่วนอก (Thoracic vertebrae, Thoracic spine, T-spine)**

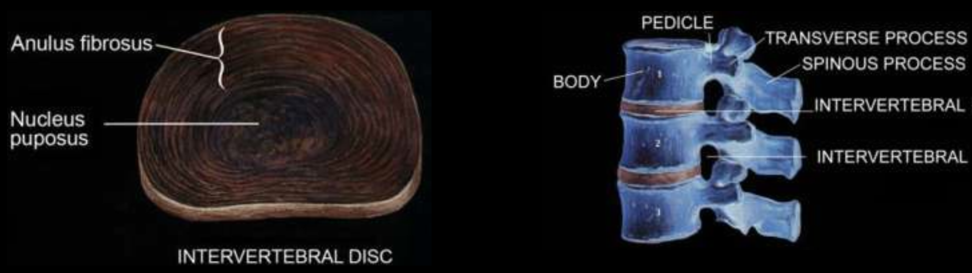
กระดูกสันหลังส่วนอกมี 12 ชิ้น เรียกชื่อเรียงตามลำดับจากบนลงล่างเป็น Thoracic vertebrae 1-12 (T1–T12) เป็นที่เกาะของกระดูกซี่โครง ทำให้เกิดลักษณะเป็นโครงอก กระดูกสันหลังส่วนอกมีขนาดใหญ่กว่าส่วนคอ มี spinous process ค่อนข้างยาว และวางตัวเฉียงลงมาทางด้านล่าง ส่วน body ของกระดูกสันหลังส่วนอก มีจุดเชื่อมต่อกับส่วนหัวของกระดูกซี่โครง

**กระดูกสันหลังส่วนเอว (Lumbar vertebrae, Lumbar spine, L-spine)**

กระดูกสันหลังส่วนเอว (lumbar vertebrae) มี 5 ชิ้น เรียกชื่อตามลำดับจากบนลงล่างว่า Lumbar vertebrae 1-5 (L1–L5) มีขนาดใหญ่และแข็งแรงมากที่สุด เนื่องจากต้องรับน้ำหนักมาก

**หมอนรองกระดูกสันหลัง (Intervertebral disc)**

หมอนรองกระดูกสันหลังเป็นตัวกั้นระหว่างกระดูกสันหลังแต่ละอัน ทำหน้าที่กระจายแรง รับน้ำหนัก และแรงกระแทกตามแนวสันหลัง รวมทั้งช่วยในการเคลื่อนไหวของข้อต่อกระดูกสันหลัง การเคลื่อนของหมอนรองกระดูกไปทางด้านหลัง จะกดไขสันหลังและเส้นประสาทไขสันหลัง



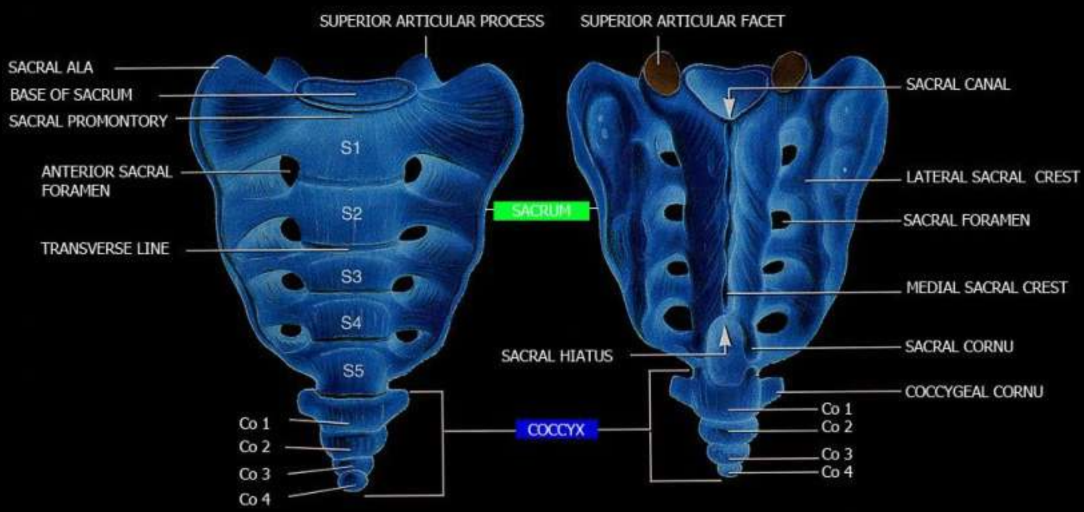

รูปที่ 5-24 แสดงกายวิภาคของหมอนรองกระดูกสันหลัง

**กระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacral vertebrae, Sacrum, S)**

มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ประกอบด้วย sacral vertebrae 5 อัน (S1-S5) เชื่อมติดกัน วางตัวอยู่ตรงกลางระหว่างกระดูกสะโพกทั้ง 2 ข้าง ประกอบเป็นผนังส่วนหลังของเชิงกราน ทางด้านบนมีช่องที่ต่อเนื่องลงมาจากช่องโพรงไขสันหลัง เรียกว่า sacral canal

**กระดูกสันหลังส่วนก้นกบ (Coccygeal vertebrae, Coccyx, Co)**

เป็นกระดูกรูปสามเหลี่ยม ประกอบด้วย coccygeal vertebrae 4 อัน (Co1-Co4) เชื่อมติดกัน ติดอยู่ที่ส่วนล่างของกระเบนเหน็บ กระดูกก้นกบจะโค้งงอมาทางด้านหน้า ช่วยเพิ่มความสมดุลในขณะทรงตัว และลดการกระแทกขณะเดิน

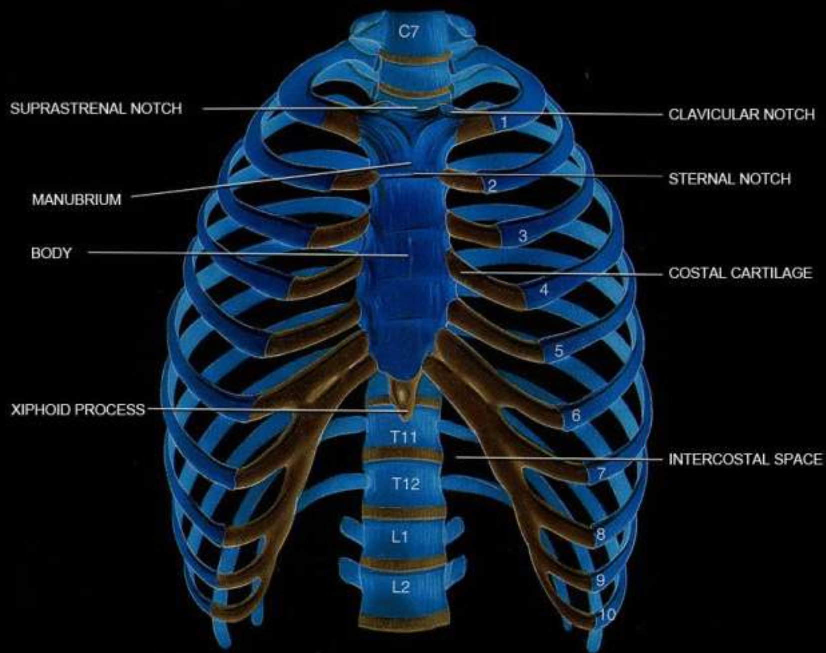



รูปที่ 5-25 แสดงกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บและก้นกบ

## กระดูกซี่โครง (Ribs)

กระดูกซี่โครงมีจำนวน 12 คู่ ประกอบเป็นด้านข้างของผนังทรวงอก กระดูกมีลักษณะยาวเรียว โค้ง กระดูกซี่โครง แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

**1. True ribs** หมายถึง กระดูกซี่โครงคู่ที่ 1-7 กระดูกซี่โครงแต่ละอันจะยึดกับ sternum ทางด้านหน้าโดยตรง โดยมีกระดูกอ่อน เรียกว่า costal cartilage เป็นตัวเชื่อม




รูปที่ 5-26 แสดงกายวิภาคของกระดูกซี่โครง (ribs) และกระดูกหน้าอก (sternum)

**2. False ribs** หมายถึง กระดูกซี่โครงคู่ที่ 8-12 กระดูกซี่โครงไม่มีกระดูกอ่อนยึดติดกับ sternum โดยตรง กระดูกกลุ่มนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

2.1 Vertebrochondral ribs หมายถึง กระดูกซี่โครงคู่ที่ 8, 9, 10 กระดูกอ่อนของซี่โครงทั้ง 3 ชิ้นนี้ จะมารวมกัน และไปเกาะกับกระดูกอ่อนของกระดูกซี่โครงคู่ที่ 7

2.2 Floating ribs หมายถึง กระดูกซี่โครงคู่ที่ 11 และ 12 ปลายด้านหน้าไม่ได้ยึดติดกับ sternum

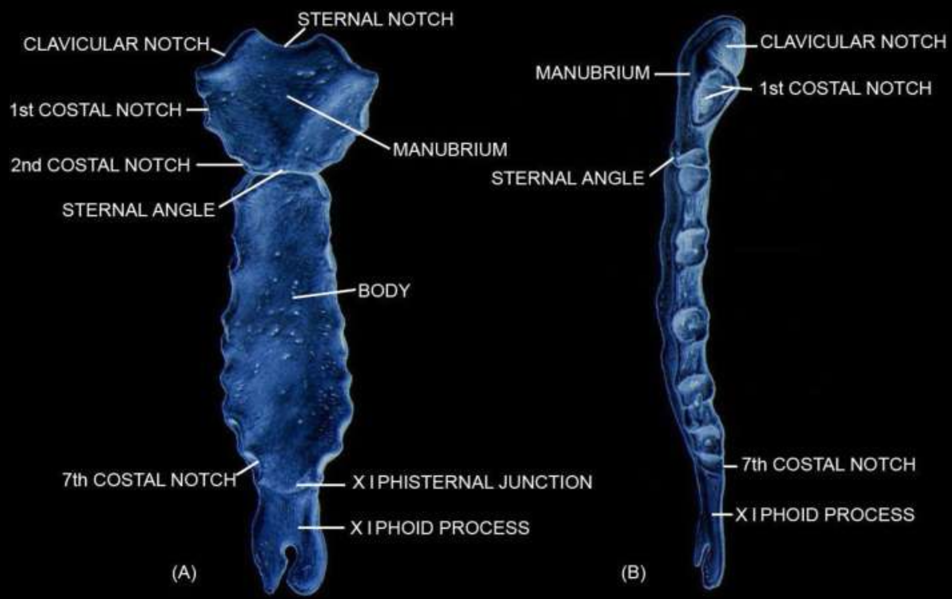
## กระดูกหน้าอก (Sternum)

Sternum เป็นกระดูกรูปร่างแบน อยู่ตรงกลางทางด้านหน้าของทรวงอก ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

**1. Manubrium** อยู่ส่วนบนสุด ขอบบนมีรอยเว้า เรียกว่า suprasternal notch ทางด้านข้างมีแอ่งสำหรับประกอบเป็นข้อต่อกับกระดูกไหปลาร้า และซี่โครง

**2. Body** อยู่ส่วนกลาง มีขนาดใหญ่ที่สุด ทางด้านข้างเชื่อมต่อกับกระดูกซี่โครงโดยกระดูกอ่อนที่เรียกว่า costal cartilage

**3. Xiphoid process** อยู่ส่วนปลายสุด รูปร่างไม่ค่อยแน่นอน เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อท้อง




รูปที่ 5-27 แสดงกายวิภาคของกระดูกหน้าอก

## กระดูกระยางค์
## (The appendicular skeleton)

### กระดูกช่วงไหล่ (Shoulder girdle, Pectoral girdle)

เป็นส่วนที่ยึดกระดูกแขนไว้กับกระดูกแกนของร่างกาย ช่วงไหล่แต่ละข้างประกอบด้วยกระดูก 2 ชิ้น คือ กระดูกสะบัก (scapula) และกระดูกไหปลาร้า (clavicle)

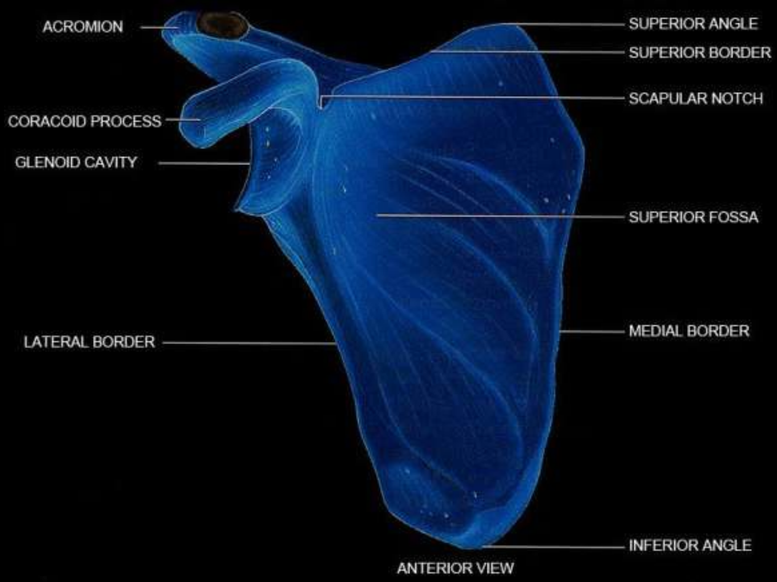



รูปที่ 5-28 แสดงกายวิภาคของกระดูกช่วงไหล่ ประกอบด้วยกระดูก Clavicle และ Scapula

#### กระดูกสะบัก (Scapula)

Scapula เป็นกระดูกแบนรูปสามเหลี่ยม วางตัวอยู่ด้านหลังของทรวงอกระดับกระดูกซี่โครงคู่ที่ 2-7 ขอบด้านในอยู่ห่างจากกึ่งกลางของกระดูกสันหลัง ประมาณ 2 นิ้ว

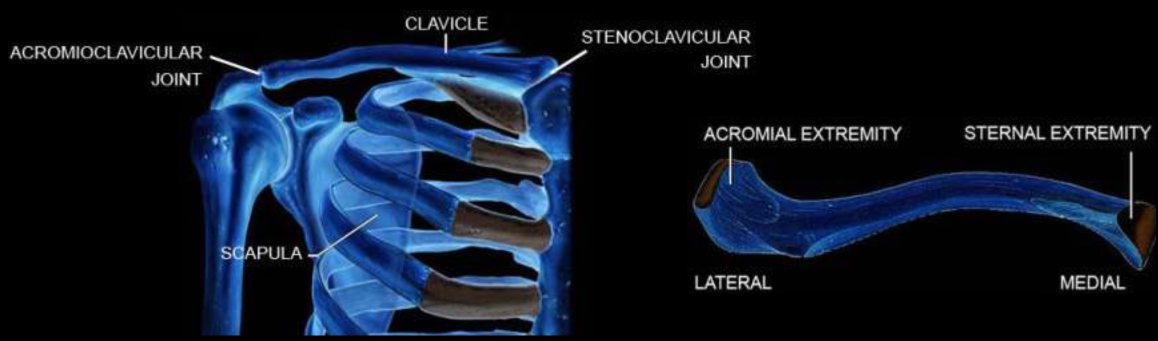
ผิวด้านหลังของ scapula มีสันนูนตามขวางเรียกว่า spine ตรงส่วนปลายของ spine จะมีลักษณะเป็นตุ่มแบนใหญ่ เรียกว่า acromion ไปประกอบเป็นข้อต่อกับกระดูกไหปลาร้า เรียกว่า acromioclavicular joint ขอบด้านนอกต่ำกว่า acromion มีแอ่งกลม เรียกว่า glenoid cavity หรือ glenoid fossa ขอบด้านบนมีปุ่มยื่นไปทางด้านหน้ามีลักษณะคล้ายตะขอ เรียกว่า coracoid process




รูปที่ 5-29 แสดงกายวิภาคของกระดูกสะบัก

### กระดูกไหปลาร้า (Clavicle)

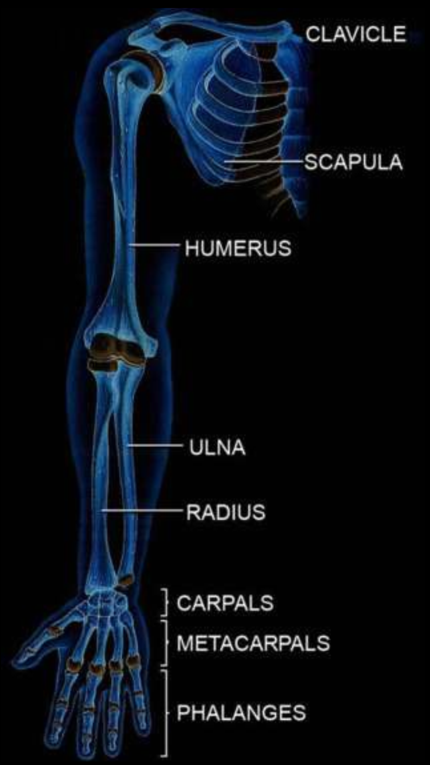
Clavicle มีรูปร่างแบน ยาวเรียว โค้งคล้ายตัวอักษรเอส (S) วางตัวในแนวนอนอยู่ตรงส่วนบนของทรวงอก ทางด้านหน้าเหนือกระดูกซี่โครงคู่ที่ 1 ปลายด้านในเรียกว่า sternal extremity ประกอบเป็นข้อต่อกับ sternum เรียกข้อต่อนี้ว่า sternoclavicular joint ปลายด้านนอก เรียกว่า acromial extremity ประกอบเป็นข้อต่อกับ acromion ของกระดูกสะบัก เรียกข้อต่อนี้ว่า acromioclavicular joint




รูปที่ 5-30 แสดงกายวิภาคของกระดูกไหปลาร้า

## กระดูกระยางค์บน (Bone of the upper limb, Upper extremity)

กระดูกระยางค์บน มีจำนวน 60 ชิ้น แบ่งเป็น 2 ข้างๆ ละ 30 ชิ้น แต่ละข้างประกอบด้วยกระดูกต้นแขน (humerus) กระดูกแขนด้านนิ้วหัวแม่มือ (radius) และ กระดูกแขนด้านนิ้วก้อย (ulna) อย่างละ 1 ชิ้น กระดูกข้อมือ (carpal bones) 8 ชิ้น กระดูกฝ่ามือ (metacarpal bones) 5 ชิ้น และกระดูกนิ้วมือ (phalanges) 14 ชิ้น

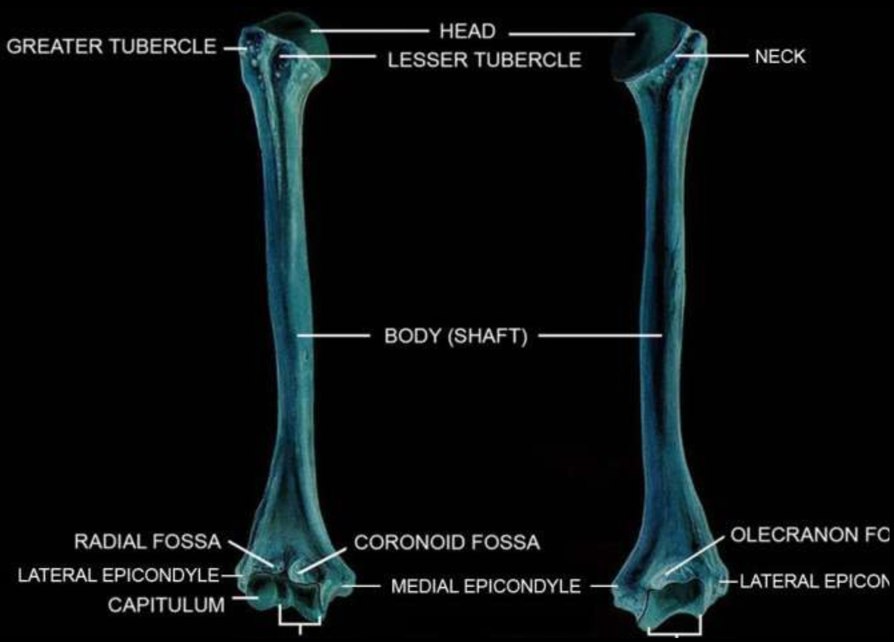



รูปที่ 5-31 แสดงกายวิภาคของกระดูกรยางค์บน

## กระดูกต้นแขน (Humerus)

**Humerus**

เป็นกระดูกรยางค์บนที่ยาวและใหญ่ที่สุด ปลายบนมีลักษณะมนกลม เรียกว่า **head of humerus** ประกอบเป็นข้อไหล่กับ **glenoid cavity** ของกระดูกสะบัก ใต้ต่อส่วน head เป็น **neck of humerus** ส่วน body (shaft) มีลักษณะเป็นแท่งยาวทรงกระบอก ปลายล่างสุดมีโครงสร้างไปประกอบกับกระดูกปลายแขน




รูปที่ 5-32 แสดงกายวิภาคของกระดูกต้นแขน

## กระดูกปลายแขน (Radius and Ulna)

**Radius** เป็นกระดูกแขนด้านนิ้วหัวแม่มือ มีลักษณะเรียวยาว ปลายบนรูปร่างกลมแบน เรียกว่า head of radius ใต้ต่อส่วน head เป็นคอคอดเรียกว่า neck of radius ถัดลงมาเป็นส่วน body หรือ shaft of radius ซึ่งกว้างมากขึ้นเรื่อยๆ ปลายล่างสุดเป็นแอ่งเว้าประกอบเป็นข้อต่อกับกระดูกข้อมือ

**Ulna** เป็นกระดูกแขนด้านนิ้วก้อย ส่วนปลายบนงุ้มคล้ายตะขอ เข้าไปเกี่ยวกับแอ่งของกระดูกต้นแขน ปลายล่างเรียกว่า head of ulna ซึ่งด้านในมีปุ่มเล็กๆ ยื่นออกมา เรียกว่า styloid process of ulna

## กระดูกข้อมือ (Carpal bones)

Carpal bones แต่ละข้างประกอบด้วยกระดูก 8 ชิ้น เรียงตัวเป็นแถวตามขวาง 2 แถว แถวละ 4 ชิ้น เรียกชื่อตามรูปร่าง ดังนี้

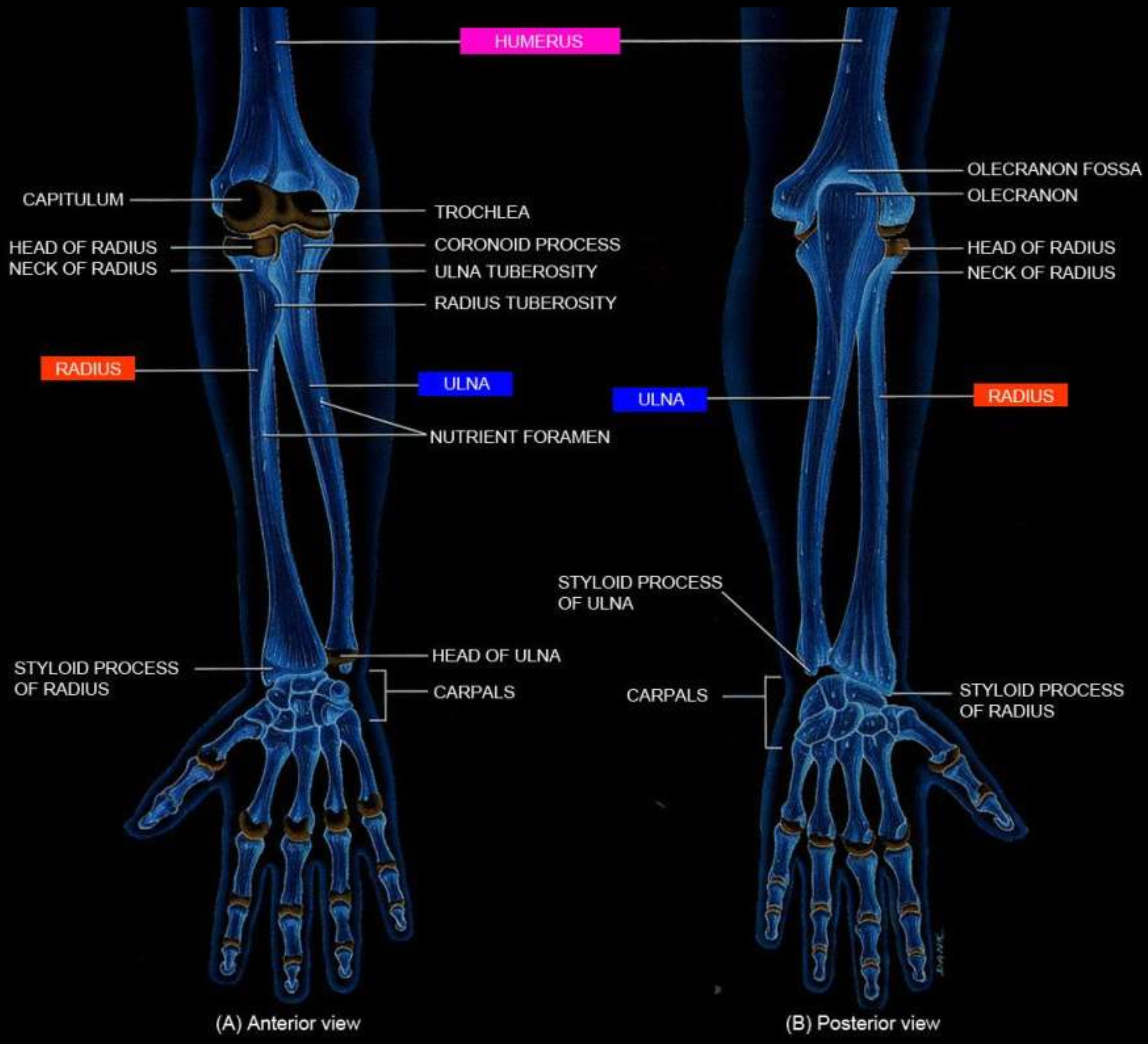
=> แถวบนเรียงจากด้านนิ้วโป้งไปนิ้วก้อย ได้แก่ Scaphoid, Lunate, Triquetrum และ Pisiform

=> แถวล่างเรียงจากด้านนิ้วโป้งไปนิ้วก้อย ได้แก่ Trapezium, Trapezoid, Capitate และ Hamate

## กระดูกฝ่ามือ (Metacarpal bones)

Metacarpal bones มีจำนวนข้างละ 5 ชิ้น เรียกชื่อตามลำดับเป็น 1-5 metacarpal bone (MCP) โดยนับจากชิ้นที่อยู่หัวแม่มือไปทางนิ้วก้อย

วิธีเรียกชื่อตามลำดับของ Metacarpal bones ของนิ้วหัวแม่มือเป็นลำดับที่ 1 ไปจนถึงนิ้วก้อย แล้วตามด้วยของมือขวาหรือมือซ้าย เช่น 1st metacarpal of right/left hand




รูปที่ 5-33 แสดงกายวิภาคของกระดูก radius และ ulna ทางด้านหน้า (A) และด้านหลัง (B)

## กระดูกนิ้วมือ (Phalanges)

Phalanges มีจำนวนข้างละ 14 ชิ้น แต่ละนิ้วประกอบด้วยกระดูกนิ้วมือ 3 ชิ้น เรียงจากโคนนิ้วไปยังปลายนิ้ว คือ proximal phalanx, middle phalanx และ distal phalanx ยกเว้นหัวแม่มือ มี 2 ชิ้น คือ proximal phalanx และ distal phalanx กระดูกนิ้วมือแต่ละชิ้นประกอบด้วย base, shaft และ head of phalanges

วิธีเรียกชื่อ ให้ดูว่าเป็น proximal/middle/distal phalanx ของนิ้วมือข้างใด เช่น proximal phalanx of right index finger




รูปที่ 5-34 แสดงกายวิภาคของกระดูกข้อมือและกระดูกนิ้วมือ

## กระดูกระยางค์ล่าง (Bone of the lower limb, Lower extremity)

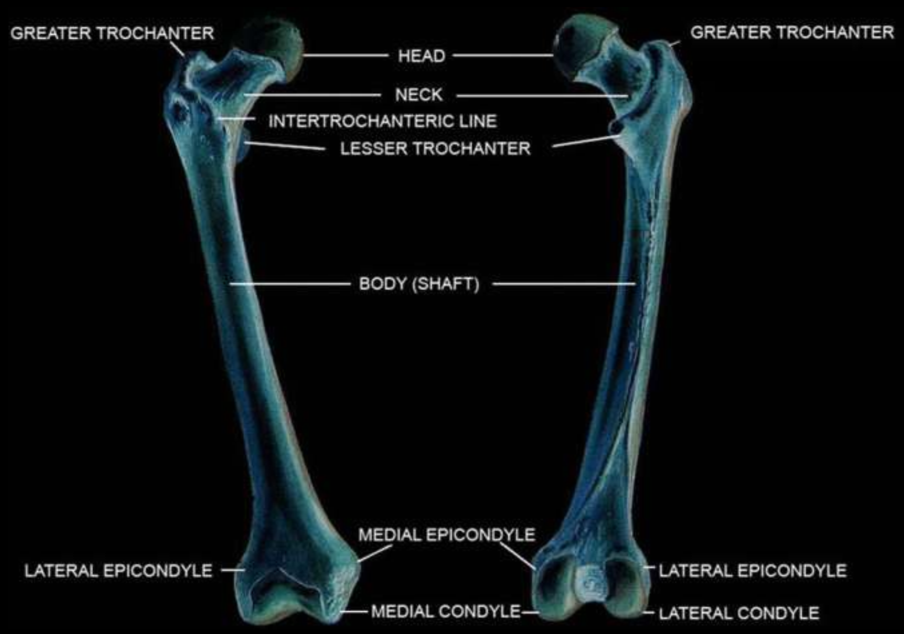
กระดูกระยางค์ล่าง ทำหน้าที่รับน้ำหนักของร่างกาย จึงมีความแข็งแรงและมีขนาดใหญ่ กระดูกระยางค์ล่าง ประกอบด้วย กระดูกต้นขา (Femur) กระดูกแข้ง (Tibia) กระดูกน่อง (Fibula) กระดูกสะบ้า (Patella) อย่างละ 2 ชิ้น กระดูกข้อเท้า (Tarsal bones) 14 ชิ้น กระดูกฝ่าเท้า (Metatarsal bones) 10 ชิ้น และกระดูกนิ้วเท้า (Phalanges) 28 ชิ้น




รูปที่ 5-35 แสดงกายวิภาคของกระดูกระยางล่าง

## กระดูกต้นขา (Femur)

Femur เป็นกระดูกที่ยาวและหนักมากที่สุดในร่างกาย ปลายด้านบนมีลักษณะเป็นหัวกลมมน เรียกส่วนนี้ว่า **head of femur** ประกอบเป็นข้อต่อกับ **acetabulum** ของกระดูกสะโพก เกิดเป็นข้อสะโพก ต่ำลงมาเป็นคอคอด เรียกว่า **neck of femur** ใต้ต่อ neck มีปุ่มนูนสำหรับเป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อสะโพกและต้นขา 2 อัน

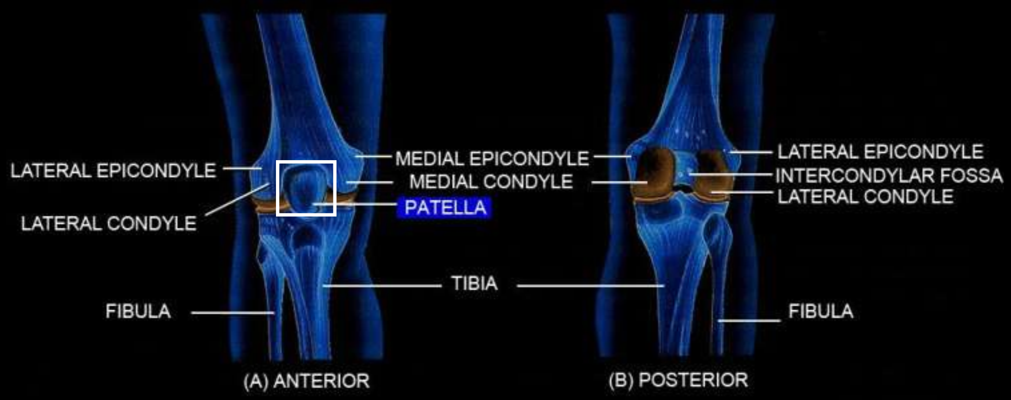


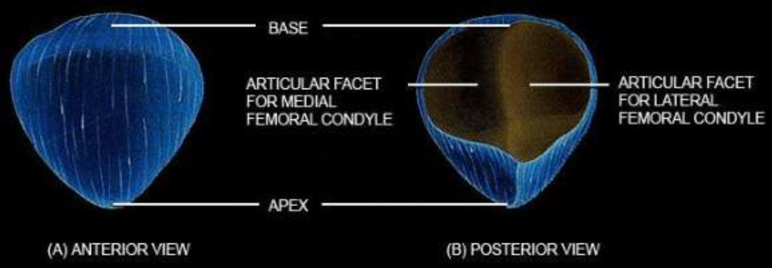

รูปที่ 5-36 แสดงกายวิภาคของกระดูกต้นขา

ปุ่มใหญ่ที่อยู่ทางด้านนอก เรียกว่า **greater trochanter** และปุ่มเล็กที่อยู่ทางด้านใน เรียกว่า **lesser trochanter** ปลายล่างของ femur แผ่ออกเป็น medial condyle และ lateral condyle ทางด้านในและด้านนอกตามลำดับ เพื่อประกอบเป็นข้อต่อกับกระดูกปลายขา

## กระดูกสะบ้า (Patella)

Patella เป็นกระดูกชิ้นเล็กรูปสามเหลี่ยม วางอยู่ทางด้านหน้าของข้อเข่าและอยู่ในเอ็นของกล้ามเนื้อ กระดูกสะบ้ามีหน้าที่ช่วยป้องกันข้อเข่า



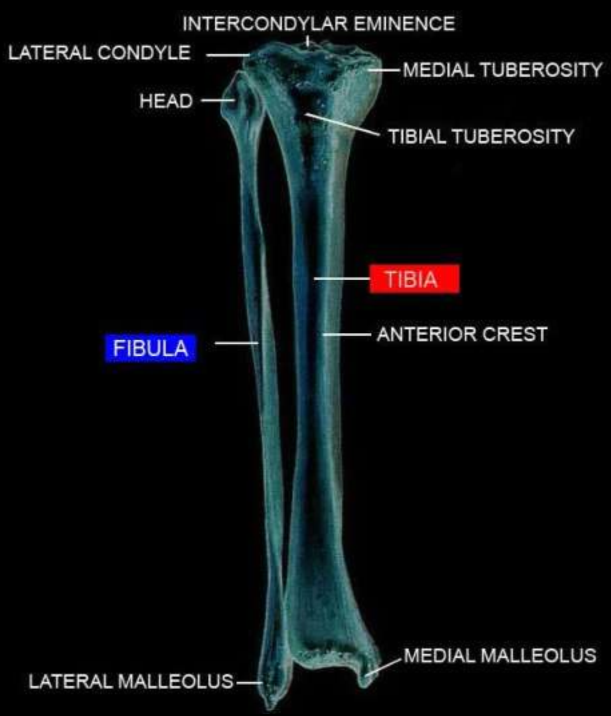



รูปที่ 5-37 แสดงกายวิภาคของกระดูกสะบ้า

## กระดูกแข้ง (Tibia)

**Tibia** อยู่ทางด้านหน้าของปลายขา ปลายบนแผ่ออกเพื่อไปประกอบเป็นข้อเข่ากับกระดูกต้นขา ปลายล่างของกระดูก tibia ยื่นไปทางด้านในเรียกว่า medial malleolus หรือตาตุ่มใน เป็นส่วนที่ไปประกอบกับกระดูก talus เป็นข้อเท้า

**Fibula** วางตัวอยู่ด้านข้างๆ ออกไปทางด้านหลังและด้านนอกต่อกระดูกแข้ง กระดูกมีขนาดเล็กยาวเรียว จึงทำหน้าที่เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อมากกว่าที่จะรับน้ำหนัก ปลายบนเรียกว่า head of fibula ส่วนปลายล่างด้านนอกเป็นปุ่มยื่น เรียกว่า lateral malleolus หรือตาตุ่มนอก




รูปที่ 5-38 แสดงกายวิภาคของกระดูก tibia และกระดูก fibula

## กระดูกเท้า (Bone of the foot)

กระดูกเท้าแต่ละข้างประกอบด้วยกระดูกจำนวน 26 ชิ้น ได้แก่ กระดูกข้อเท้า (Tarsal bones) 7 ชิ้น กระดูกฝ่าเท้า (Metatarsal bones) 5 ชิ้น และกระดูกนิ้วเท้า (Phalanges) จำนวน 14 ชิ้น

### กระดูกข้อเท้า (Tarsal bones)

กระดูกข้อเท้าแต่ละข้างประกอบด้วยกระดูกจำนวน 7 ชิ้น ได้แก่ Talus, Calcaneus, Navicular, Cuboid อย่างละ 1 ชิ้น และ Cuneiform 3 ชิ้น (1$^{st}$, 2$^{nd}$, 3$^{rd}$ Cuneiform)

### กระดูกฝ่าเท้า (Metatarsal bones)

กระดูกฝ่าเท้า มีจำนวน 5 ชิ้น เรียกชื่อตามลำดับว่า $1^{st}$, $2^{nd}$, $3^{th}$, $4^{th}$ และ $5^{th}$ metatarsal bone โดยนับจากชิ้นที่อยู่หัวแม่เท้าไปทางนิ้วก้อยเท้า กระดูกแต่ละชิ้นประกอบด้วยส่วน base (ฐาน) shaft (ลำตัว) และ head (ส่วนหัว)

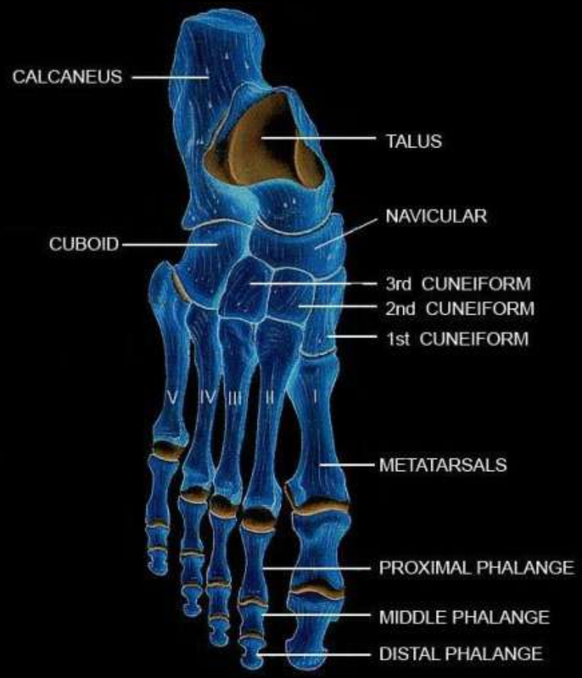
วิธีเรียกชื่อ ทำนองเดียวกับกระดูกฝ่ามือ เช่น $1^{st}$ metatarsal of right foot

### กระดูกนิ้วเท้า (Phalanges)

กระดูกนิ้วเท้าแต่ละข้างมีจำนวน 14 ชิ้น มีการจัดเรียงตัวของนิ้วเท้าคล้ายกับนิ้วมือ เฉพาะกระดูกนิ้วหัวแม่โป้งเท้า มี 2 ชิ้น ได้แก่ proximal และ distal phalanges ส่วนนิ้วอื่นๆ มี 3 ชิ้น ได้แก่ proximal, middle และ distal phalanges

วิธีเรียกชื่อ ทำนองเดียวกับกระดูกนิ้วมือ เช่น proximal phalanx of right/left big toe

หมายเหตุ หัวแม่โป้งเท้า เรียกว่า big toe, นิ้วต่อมาเรียกว่า $2^{nd}$ toe, $3^{th}$ toe, $4^{th}$ toe และ $5^{th}$ toe ตามลำดับ

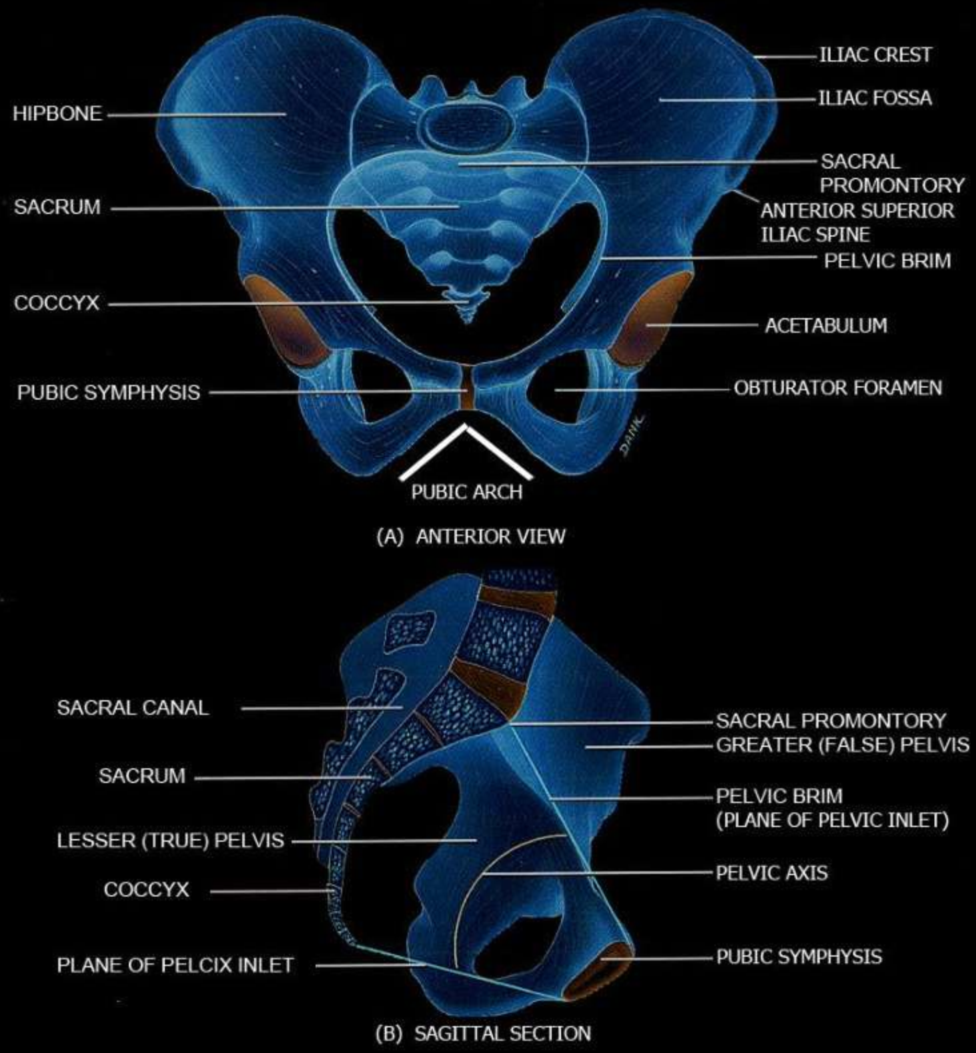



รูปที่ 5-39 แสดงกายวิภาคของกระดูกเท้า

## กระดูกสะโพก (Hip bone)

เชิงกรานประกอบด้วยกระดูกสะโพก เรียกว่า **Hip bone (Coxal bone)** จำนวน 2 ชิ้น ทำหน้าที่ค้ำจุนส่วนขาเพื่อรับน้ำหนักไว้ กระดูก hip bone 2 ข้าง เชื่อมต่อกันทางด้านหน้าเป็นข้อต่อ เรียกว่า **pubic symphysis (symphysis pubis)** และทางด้านหลังประกอบเป็นข้อต่อกับกระดูก sacrum

ในทารกแรกเกิด กระดูกสะโพกแต่ละข้าง ประกอบด้วยกระดูก 3 ชิ้น ได้แก่ **ilium, pubis และ ischium** เมื่อมีอายุมากขึ้น กระดูกทั้ง 3 ชิ้น จะเชื่อมติดเป็นกระดูกชิ้นเดียว บริเวณที่เป็นรอยต่อของกระดูกทั้ง 3 ชิ้น มีลักษณะเป็นหลุมรูปกลมลึก อยู่ทางด้านข้างของกระดูกสะโพก เรียกว่า **acetabulum** ทำหน้าที่เป็นเบ้ารับหัวกระดูกต้นขา

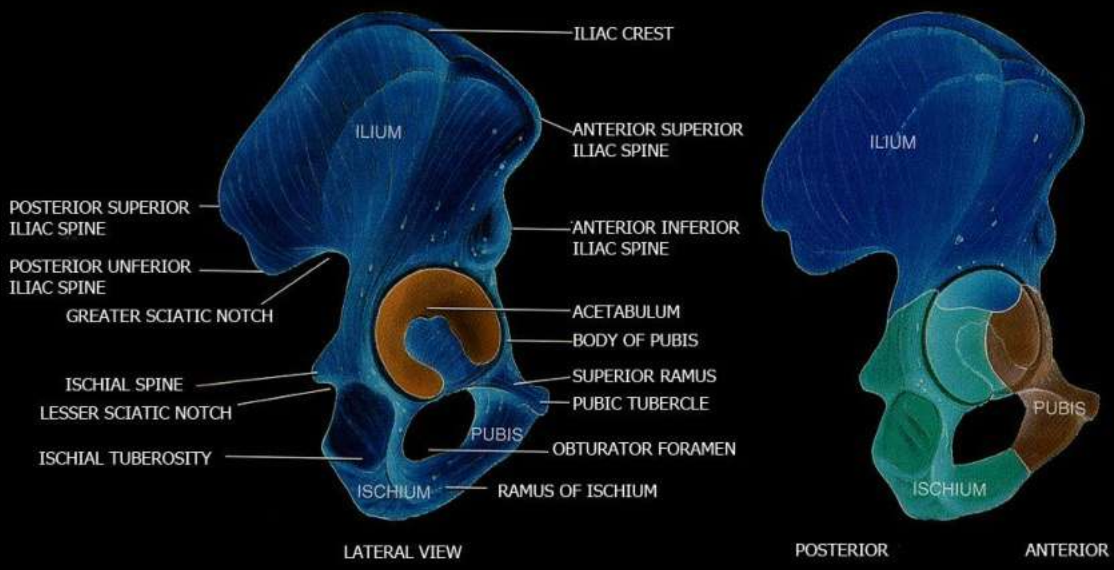



รูปที่ 5-40 แสดงกายวิภาคของกระดูกเชิงกรานทางด้านหน้า (A) และทางด้านข้าง (B)

**1. Ilium** เป็นกระดูกชิ้นที่ใหญ่ที่สุดของสะโพก ผิวทางด้านหน้ามีลักษณะเป็นแอ่งตื้นๆ เรียกว่า **iliac fossa** ขอบบนมีลักษณะเป็นสัน เรียกว่า **iliac crest** สันกระดูกนี้มาสิ้นสุดทางด้านหน้าเป็นปุ่มกระดูกที่เรียกว่า **anterior superior iliac spine** กระดูก ilium ไปประกอบเป็นข้อต่อทางด้านหลังกับกระดูก sacrum เรียกว่าข้อต่อ sacroiliac joint

**2. Ischium** อยู่ทางด้านล่างและค่อนไปทางด้านหลังของ hip bone ส่วนปลายมีปุ่มกระดูกยื่นออกมา เรียกว่า ischial spine

**3. Pubis** อยู่ทางด้านล่างค่อนมาทางด้านหน้า ประกอบด้วยส่วน body ที่มี superior ramus (ขาบน) และ inferior ramus (ขาล่าง) ยื่นไปเชื่อมกับกระดูก ischium ทางด้านหลัง ส่วน body แต่ละข้าง จะมาเชื่อมต่อกันตรงกลางเป็นข้อต่อ เรียกว่า **pubic symphysis** หรือหัวเหน่า ส่วนใต้ pubic symphysis มีลักษณะเป็นมุมคล้ายอักษรตัววี (V) กลับหัว เรียกว่า **pubic arch**




รูปที่ 5-41 แสดงกายวิภาคของกระดูกเชิงกรานทางด้านข้าง

กระดูก sacrum, coccyx, และ hip bone ทั้ง 2 ข้างประกอบกันเป็นโครงสร้างลักษณะคล้ายชามอ่าง เรียกว่า เชิงกราน (pelvis) ซึ่งแบ่งเป็นส่วนบนและส่วนล่าง โดยอาศัยแนวระดับของเส้นที่เชื่อมระหว่างปุ่มกระดูกใหญ่ของ sacrum ที่เรียกว่า sacral promontory ทางด้านหลังกับ pubic symphysis ทางด้านหน้า ขอบเขตของระนาบนี้ เรียกว่า pelvic brim

เชิงกรานส่วนบนที่อยู่เหนือต่อ pelvic brim เรียกว่า greater pelvis ซึ่งส่วนนี้ถือเป็นส่วนหนึ่งของช่องท้อง ไม่ได้เป็นที่อยู่ของอวัยวะในอุ้งเชิงกราน เว้นกระเพาะปัสสาวะเมื่อมีน้ำปัสสาวะเต็ม และมดลูกในขณะตั้งครรภ์ ทางเปิดจาก greater pelvis เข้าสู่ lesser pelvis เรียกว่า pelvis inlet

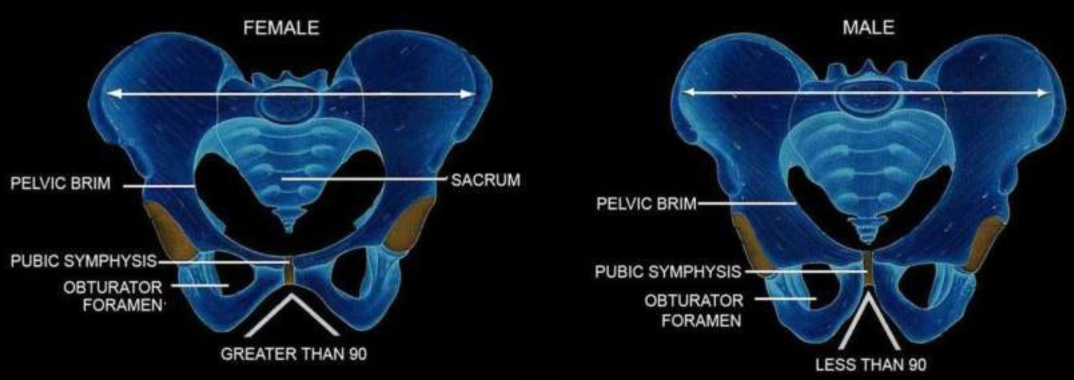
Lesser pelvis ล้อมรอบช่องเชิงกรานไว้ และเป็นที่อยู่ของอวัยวะในอุ้งเชิงกราน ทางเปิดของ lesser pelvis ออกสู่ภายนอก เรียกว่า pelvic outlet

**ความแตกต่างของกระดูกเชิงกรานเพศชายและหญิง** ดังนี้

1. Pelvic inlet ในเพศหญิงรูปร่างกลม และมี greater pelvis กลมและกว้าง ส่วนของเพศชาย Pelvic inlet เป็นรูปหัวใจ และมี greater pelvis แคบ

2. Subpubic angle ในเพศหญิงกว้างกว่าในเพศชาย

3. กระดูก Sacrum ของเพศหญิงมนกว้างและโค้งไปทางด้านหลัง ส่วนชายแบนและเอียงมาทางด้านหน้า




รูปที่ 5-42 แสดงลักษณะของกระดูกเชิงกรานเพศชายและหญิง

**หน้าที่ของกระดูก** โดยทั่วไปกระดูกมีหน้าที่ ดังนี้

1. **Support** : ค้ำจุนให้ร่างกายคงรูปอยู่ได้
2. **Protection** : ป้องกันอวัยวะภายร่างกาย
3. **Assist in movement** : ช่วยในการเคลื่อนไหว
4. **Mineral storage and release** : สะสมแคลเซียม และฟอสเฟต
5. **Blood cell production (Hematopoiesis)** : สร้างเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว เกล็ดเลือด
6. **Storage energy** : สะสมไขมัน ที่ไขกระดูกเหลือง

***********************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy* : *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**
**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**
**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

-------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบกล้ามเนื้อ
(Anatomy and Physiology of Muscular system)

**จำนวน** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับคุณสมบัติของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ชนิดของกล้ามเนื้อ จุลกายวิภาคของกล้ามเนื้อ การตั้งชื่อกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อกลุ่มต่างๆ สรีรวิทยากล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อหัวใจ และหน้าที่โดยทั่วไปของกล้ามเนื้อ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกคุณสมบัติของกล้ามเนื้อได้ถูกต้อง
2. บอกชนิดของกล้ามเนื้อได้ถูกต้อง
3. เปรียบเทียบความแตกต่างของกล้ามเนื้อแต่ละชนิดได้อย่างถูกต้อง
4. บอกหลักการวิธีการตั้งชื่อกล้ามเนื้อได้อย่างถูกต้อง
5. บอกชื่อกล้ามเนื้อและหน้าที่กล้ามเนื้อสำคัญ ได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายโครงสร้างเซลล์กล้ามเนื้อลายที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายโครงสร้างเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายโครงสร้างเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 6

************************************

# ระบบกล้ามเนื้อ
# (Anatomy and Physiology of Muscular system)

**ตอนที่ 1 กายวิภาคศาสตร์ระบบกล้ามเนื้อ**

1.1 คุณสมบัติของกล้ามเนื้อ
1.2 ชนิดของกล้ามเนื้อ
1.3 การตั้งชื่อกล้ามเนื้อ
1.4 กล้ามเนื้อกลุ่มต่างๆ ตามตำแหน่งของร่างกาย
1.4.1 กล้ามเนื้อแสดงความรู้สึกใบหน้า
1.4.2 กล้ามเนื้อของหนังศีรษะ
1.4.3 กล้ามเนื้อรอบเบ้าตา
1.4.4 กล้ามเนื้อรอบจมูก
1.4.5 กล้ามเนื้อรอบปาก
1.4.6 กล้ามเนื้อเคี้ยวอาหาร
1.4.7 กล้ามเนื้อคอ
1.4.8 กล้ามเนื้อเคลื่อนไหวลูกตา
1.4.9 กล้ามเนื้อเคลื่อนไหวศีรษะและคอ
1.4.10 กล้ามเนื้อหลัง
1.4.11 กล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจ
1.4.12 กล้ามเนื้อหน้าท้อง
1.4.13 กล้ามเนื้อต้นแขน
1.4.14 กล้ามเนื้อช่วงไหล่
1.4.15 กล้ามเนื้อปลายแขน
1.4.16 กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอข้อมือ มือ และนิ้วมือ
1.4.17 กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เหยียดข้อมือ มือ และนิ้วมือ
1.4.18 กล้ามเนื้อมือ
1.4.19 กล้ามเนื้อต้นขา
1.4.20 กล้ามเนื้อปลายขา
1.4.21 กล้ามเนื้อเท้า
1.4.22 กล้ามเนื้อของพื้นช่องเชิงกราน
1.4.23 กล้ามเนื้อก้น

**ตอนที่ 2 สรีรวิทยาการหดตัวของกล้ามเนื้อ**

2.1 กล้ามเนื้อลาย

2.1.1 โครงสร้างของกล้ามเนื้อลาย

2.1.2 องค์ประกอบทางชีวเคมีของฟิลาเมนต์

2.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

2.1.4 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย

2.1.5 คุณสมบัติทางกลศาสตร์

2.1.6 พลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

2.1.7 ชนิดของเซลล์กล้ามเนื้อ

2.2 กล้ามเนื้อหัวใจ

2.2.1 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ

2.3 กล้ามเนื้อเรียบ

2.3.1 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ

# บทที่ 6
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบกล้ามเนื้อ
# (Anatomy and Physiology of Muscular system)

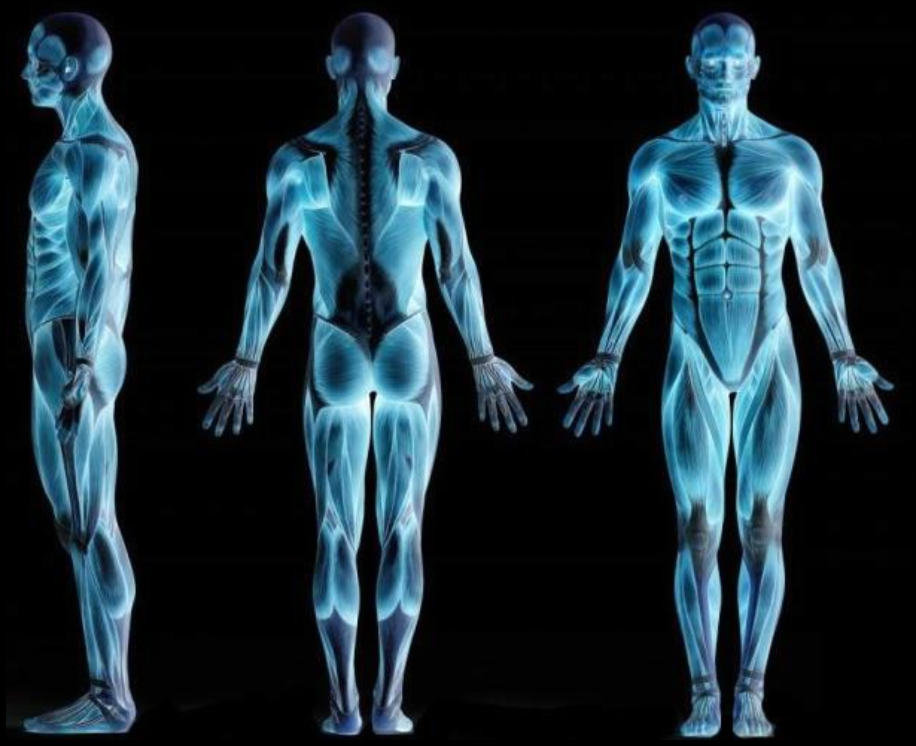
ว่าที่ น.อ.สุเทพ  จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

กล้ามเนื้อเป็นเนื้อเยื่อที่มีมากที่สุดในร่างกาย ประมาณ 40 - 50% ของน้ำหนักตัว มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนไหว เช่น การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อลายทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของกระดูกและข้อต่อต่างๆ กล้ามเนื้อหัวใจทำให้หัวใจมีการบีบตัว  กล้ามเนื้อเรียบที่ประกอบเป็นผนังของอวัยวะภายใน เช่น ลำไส้ จะทำให้ลำไส้มีการบีบตัว เป็นต้น

## ตอนที่ 1
## กายวิภาคศาสตร์ระบบกล้ามเนื้อ

**1.1 คุณสมบัติของกล้ามเนื้อ** โดยทั่วไป ดังนี้

1) Excitability หมายถึง ความสามารถในการรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าจากภายนอก
2) Contractility หมายถึง ความสามารถในการหดตัว
3) Extensibility หมายถึง ความสามารถในการถูกยืด โดยไม่เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อ
4) Elasticity หมายถึง ความสามารถในการหดตัวกลับเข้าที่เดิมหลังถูกยืด



รูปที่ 6-1 ลักษณะของกล้ามเนื้อภายนอกโดยทั่วไป

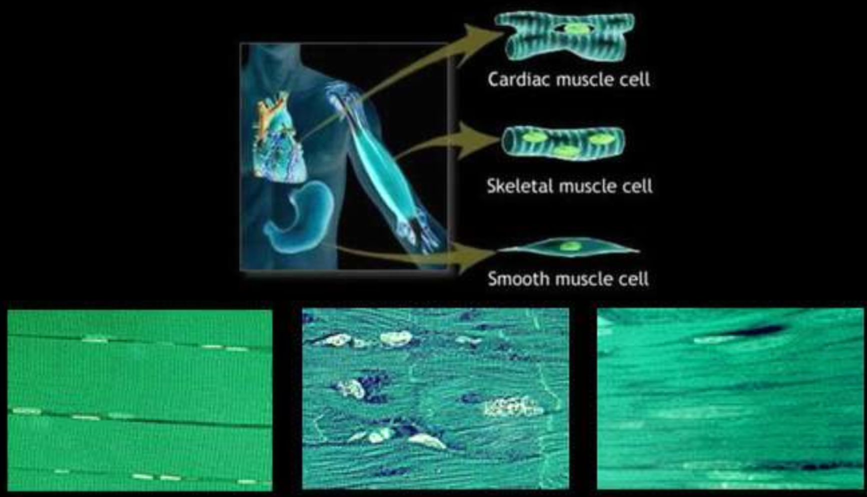
**1.2 ชนิดของกล้ามเนื้อ**

กล้ามเนื้อของร่างกายมนุษย์ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะทางจุลกายวิภาค และการควบคุมโดยระบบประสาท ดังนี้

**1. กล้ามเนื้อลาย (Skeletal muscle, striated muscle)** เป็นกล้ามเนื้อที่มีลาย ยึดติดอยู่กับกระดูก 2 ชิ้น ประกอบขึ้นเป็นกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ของร่างกาย การหดตัวของกล้ามเนื้อลายจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย และการหดตัวจะเกิดขึ้นได้เมื่อได้รับการกระตุ้นหรือสัญญาณไฟฟ้าจากมอเตอร์นิวรอน การทำงานอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ

**2. กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle)** เป็นกล้ามเนื้อที่มีลาย ประกอบเป็นผนังของหัวใจ เมื่อกล้ามเนื้อหัวใจหดตัว จะสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย กล้ามเนื้อหัวใจหดตัวได้เองโดยอัตโนมัติ การทำงานถูกควบคุมโดยประสาทอัตโนมัติ และฮอร์โมนต่างๆ ซึ่งอยู่นอกอำนาจจิตใจ

**3. กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle)** เป็นกล้ามเนื้อไม่มีลาย ประกอบเป็นผนังของอวัยวะภายใน เช่นที่ผนังหลอดเลือด ท่อทางเดินอาหาร ท่อของระบบปัสสาวะ ระบบสืบพันธ์ เป็นต้น การทำงานถูกควบคุมโดยประสาทอัตโนมัติ และฮอร์โมนต่างๆ เหมือนหัวใจ




A B C

รูปที่ 6-2 แสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของกล้ามเนื้อลาย (A) กล้ามเนื้อหัวใจ (B) กล้ามเนื้อเรียบ (C)

**1.3 การตั้งชื่อกล้ามเนื้อ**

1. ทิศทางของเส้นใย เช่น rectus (มีทิศทางขนานกับแนวแกนกลางลำตัว) transverse (มีทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนกลางลำตัว obligue (มีทิศทางเฉียงกับแนวแกนกลางลำตัว)

2. ตำแหน่งของกล้ามเนื้อ เช่น intercostal (อยู่ระหว่างกระดูกซี่โครง)

3. ขนาดของกล้ามเนื้อ เช่น maximus (ขนาดใหญ่) minimus (ขนาดเล็ก) longus (ยาว) brevis (สั้น)

4. จำนวนจุดเกาะต้น เช่น biceps (จุดเกาะต้น 2 ตำแหน่ง) triceps (จุดเกาะต้น 3 ตำแหน่ง)

5. รูปร่าง เช่น deltoid (รูปสามเหลี่ยม) trapezius (รูปสี่เหลี่ยมคางหมู) serratus (ฟันเลื่อย)

6. จุดเกาะต้นและจุดเกาะปลาย เช่น sternocleidomastoid มีจุดเกาะต้นที่กระดูก sternum มีจุดเกาะปลายที่ mastoid process

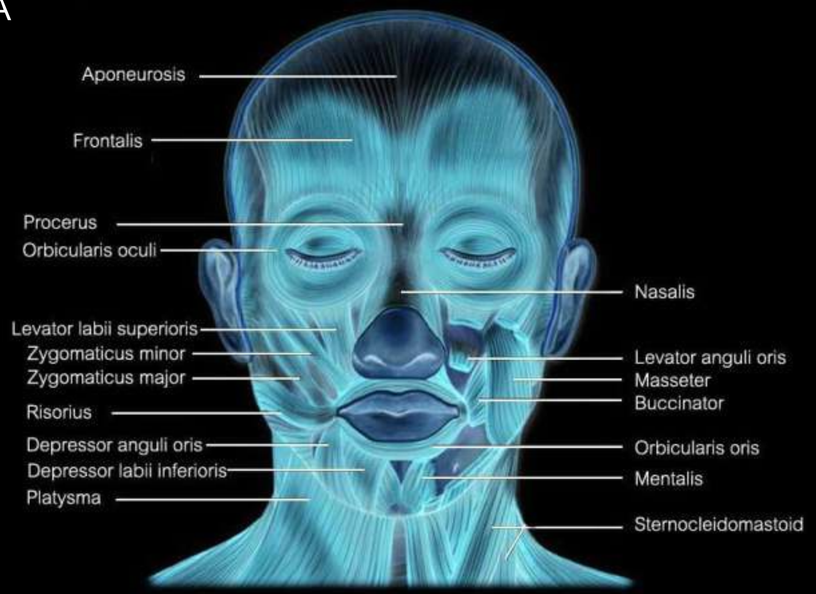
7. ลักษณะการทำงาน เช่น flexor (งอข้อต่อ) extensor (เหยียดข้อต่อ)

## 1.4 กล้ามเนื้อกลุ่มต่างๆ ตามตำแหน่งของร่างกาย

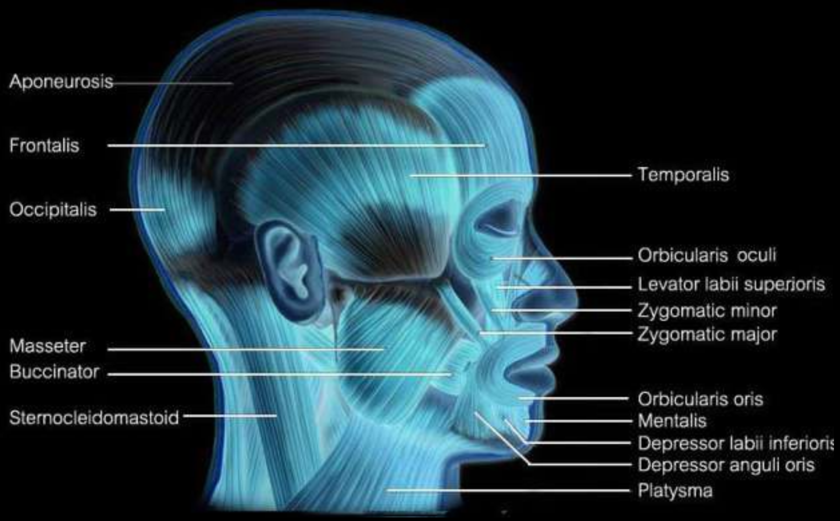
### 1.4.1 กล้ามเนื้อแสดงความรู้สึกใบหน้า

เป็นกล้ามเนื้อที่ทำให้มนุษย์แสดงอารมณ์และความรู้สึกทางใบหน้า ที่สำคัญของกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ ได้แก่

A




B




รูปที่ 6-3 แสดงกล้ามเนื้อแสดงความรู้สึกใบหน้าทางด้านหน้า (A) ทางด้านข้าง (B)

### 1.4.2 กล้ามเนื้อของหนังศีรษะ

=> Frontalis : ยักคิ้ว เลิกคิ้ว ทำหน้าผากย่น กล้ามเนื้อมัดนี้ทำให้เกิดรอยตีนกา บนหน้าผาก

=> Occipitalis : ดึงหนังศีรษะไปทางด้านหลัง

### 1.4.3 กล้ามเนื้อรอบเบ้าตา

=> Orbicularis oculi : กระพริบตา หยีตา ดึงคิ้วลงมาทางด้านล่าง เกิดรอยตีนกาที่หางคิ้ว

=> Corrugator supercillii : ขมวดคิ้ว

**1.4.4 กล้ามเนื้อรอบจมูก**

=> Nasalis : ดึงปีกจมูกให้รูจมูกกว้าง

**1.4.5 กล้ามเนื้อรอบปาก**

=> Levator labii superior : ดึงริมฝีปากขึ้น รูจมูกผายออก (แบบสะอิดสะเอียน)

=> Levator anguli oris : ยกมุมปากขึ้น (ทำให้เห็นฟันในขณะยิ้ม)

=> Zygomaticus major : ยกมุมปากขึ้น (ยิ้ม)

=> Risorius : ทำงานร่วมกับ Zygomaticus major ช่วยยกมุมปากขึ้น (ยิ้ม)

=> Depressor anguli oris : ดึงมุมปากลงและออกไปทางด้านข้าง (เศร้า ร้องไห้)

=> Depressor labii inferioris : ดึงริมฝีปากลงล่าง (บุ้ยริมฝีปาก)

=> Orbicularis oris : ปิดปาก เม้มปาก

=> Mentalis : คางย่น

=> Buccinator : ดูด เป่า จูบ ผิวปาก

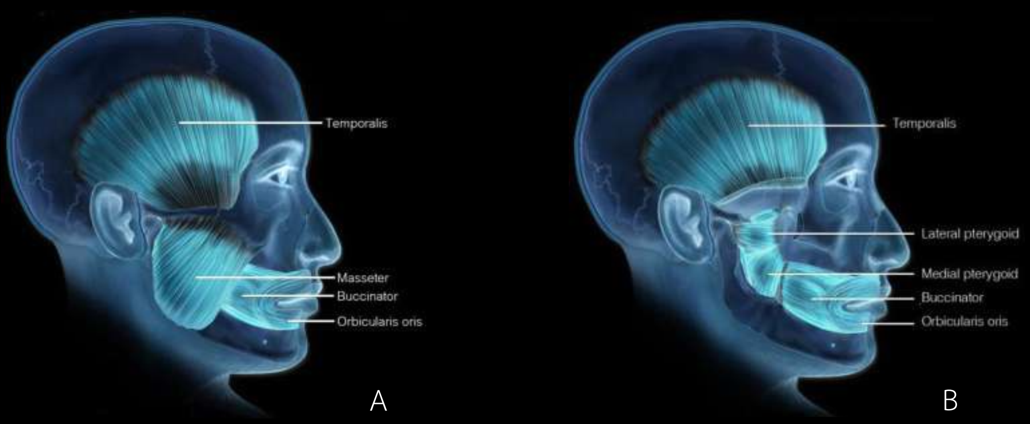
**1.4.6 กล้ามเนื้อเคี้ยวอาหาร**

=> Masseter : ปิดขากรรไกรล่างขณะกัดกินอาหาร

=> Temporalis : ปิดขากรรไกรล่างขณะกัดกินอาหาร

=> Medial pterygoid : บดเคี้ยวอาหาร

=> Lateral pterygoid : บดเคี้ยวอาหาร




รูปที่ 6-4 แสดงกล้ามเนื้อเคี้ยวอาหารทางด้านข้างระดับตื้น (A) ระดับลึก (B)

**1.4.7 กล้ามเนื้อคอ**

=> Platysma : ดึงคางลงล่าง ห้อยปากลง แสดงความไม่พอใจ

**1.4.8 กล้ามเนื้อเคลื่อนไหวลูกตา**

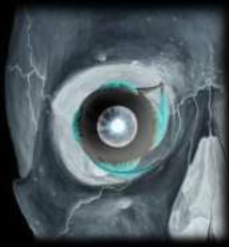
ประกอบด้วยกล้ามเนื้อลาย 6 มัด ทำหน้าที่กรอกตาไปมารอบๆ แกนลูกตา ได้แก่

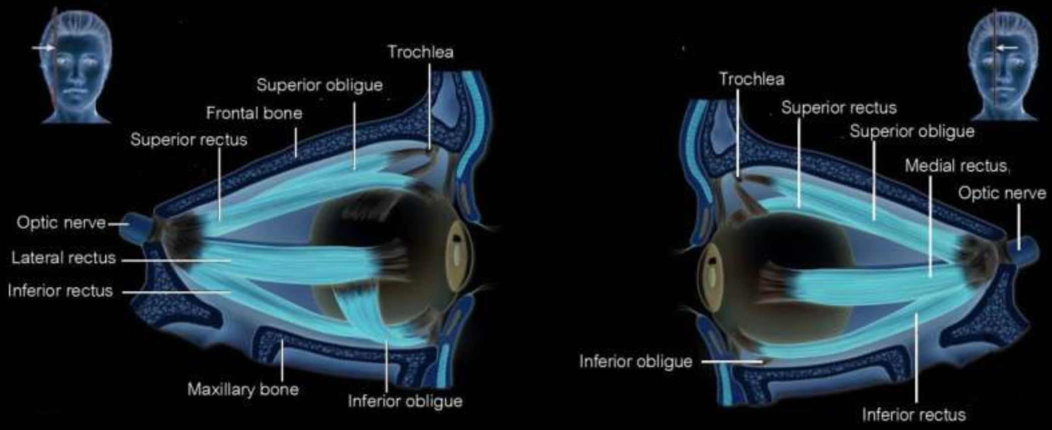
=> Superior rectus ดึงลูกตาให้มองขึ้นข้างบน => Inferior rectus ดึงลูกตาให้มองลงล่าง

=> Medial rectus ดึงลูกตาให้มองเข้าข้างใน => Lateral rectus ดึงลูกตาให้มองออกด้านนอก

=> Superior obligue หมุนลูกตาให้มองลงล่าง เฉียงไปทางด้านนอก

=> Inferior obligue หมุนลูกตาให้มองขึ้นบน เฉียงไปทางด้านนอก






รูปที่ 6-5 แสดงกล้ามเนื้อเคลื่อนไหวลูกตาข้างขวา

**1.4.9 กล้ามเนื้อเคลื่อนไหวศีรษะและคอ** ทำหน้าที่ก้ม เงย หรือหมุนศีรษะไปทางด้านข้าง ได้แก่

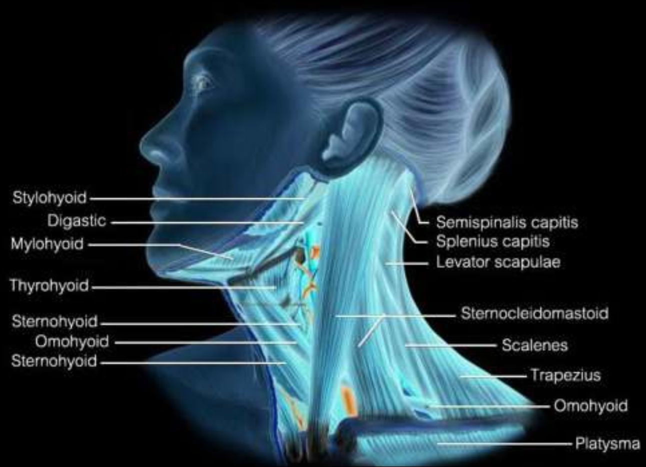
=> Sternocleidomastoid : ทำหน้าที่หลักในการเคลื่อนไหวของศีรษะและคอ ถ้ากล้ามเนื้อหดตัวพร้อมกันจะทำให้ศีรษะก้มลงมาทางด้านหน้า ถ้าหดตัวด้านใดด้านหนึ่งจะทำให้เกิดการหมุนของศีรษะไปด้านตรงข้ามกับกล้ามเนื้อ

=> Levator scapulae : ทำหน้าที่ในการยกกระดูก scapula

=> Longus colli : เอียงศีรษะไปทางด้านข้าง

=> Splenius capitis : ทำให้เกิดการหมุนและเหยียดศีรษะ

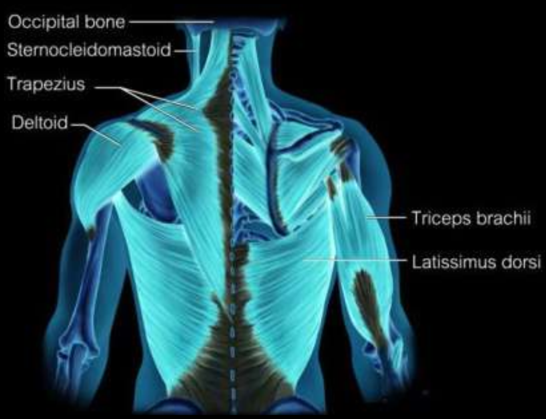
=> Semispinalis capitis : เหยียดศีรษะและคอ




รูปที่ 6-6 แสดงกายวิภาคของกล้ามเนื้อเคลื่อนไหวศีรษะและคอด้านข้าง

**1.4.10 กล้ามเนื้อหลัง** ประกอบด้วยกล้ามเนื้อชั้นตื้นและกล้ามเนื้อชั้นลึก

**1) กล้ามเนื้อชั้นตื้น** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Deltoid, Trapezius, Latissimus dorsi กล้ามเนื้อชั้นตื้นไม่ค่อยมีความ สำคัญในการเคลื่อนไหวของหลัง แต่ช่วยในการเคลื่อนไหวของไหล่และแขน



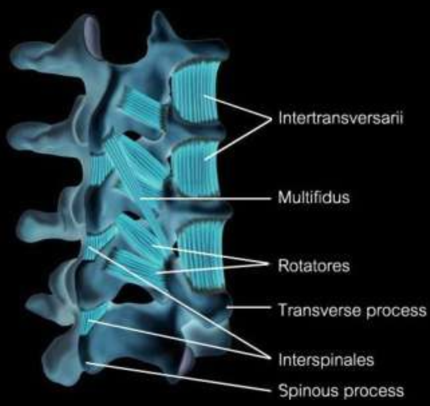

รูปที่ 6-7 แสดงกล้ามเนื้อหลัง

**2) กล้ามเนื้อชั้นลึก** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Iliocostalis lumborum, Longissimus thoracis และ Spinalis thoracis กล้ามเนื้อกลุ่มนี้มีความแข็งแรงมาก ทำให้เกิดการเหยียดตรงของกระดูกสันหลัง และยังช่วยในการงอกระดูกสันหลังไปทางด้านข้างด้วย ด้านล่างของหลัง บริเวณเอวและกระเบนเหน็บ พบกล้ามเนื้อ Iliocostalis และ Longissimus กล้ามเนื้อทั้ง 2 ชนิด รวมกันเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ เรียกว่า sacrospinalis muscle




รูปที่ 6-8 แสดง
กล้ามเนื้อหลังชั้นลึก

ลึกลงไปอีกยังมีกล้ามเนื้อที่ยึดระหว่างปุ่มกระดูกสันหลัง (spine) ของกระดูกสันหลัง เพื่อให้มีความมั่นคงของกระดูกสันหลัง ช่วยในการเหยียดบ้างเล็กน้อย และทำให้เกิดการหมุนของลำกระดูกสันหลัง ได้แก่ กล้ามเนื้อ Multifidus, Interspinales, Intertransversarii และ Rotators




รูปที่ 6-9 แสดงกล้ามเนื้อที่ยึด
ระหว่างปุ่มกระดูกสันหลัง

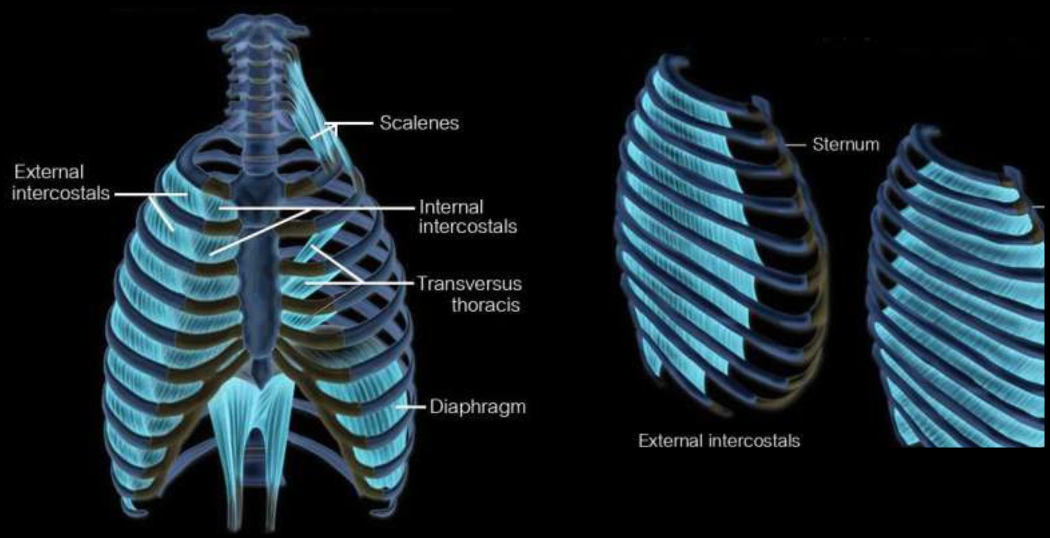
**1.4.11 กล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจ**

เป็นกล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของช่องอก เป็นผลให้เกิดการหายใจเข้าและออก ได้แก่

=> **Diaphragm** เป็นแผ่นกล้ามเนื้อรูปโดม กั้นระหว่างช่องอกและช่องท้อง เมื่อกระบังลมหดตัว โดมของกระบังลมจะแบนลงทำให้ปริมาตรในช่องอกเพิ่มความขึ้น เกิดการหายใจเข้า ถ้ากระบังลมคลายตัว โดมของกระบังลมจะสูงขึ้น ทำให้ปริมาตรในช่องอกลดลง เกิดการหายใจออก

=> **External intercostal muscle** เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ระหว่างซี่โครงทุกช่อง โดยเกาะจากขอบล่างของซี่โครงอันบนลงไปยังขอบบนของซี่โครงอันล่างของช่องซี่โครงนั้นๆ และมีทิศทางเฉียงไปทางด้านหน้า มีหน้าที่เกี่ยวกับการหายใจเข้า โดยการยกกระดูกซี่โครงขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาตรของช่องอก

=> **Internal intercostal muscle** เป็นกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงและอยู่ลึกกว่า External intercostal muscle มีทิศทางการไขว้กัน คือเฉียงไปทางด้านหลัง มีหน้าที่เกี่ยวกับการหายใจออกโดยการดึงกระดูกซี่โครงลงทำให้ช่องอกแคบลง




รูปที่ 6-10 แสดงกล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจ

**1.4.12 กล้ามเนื้อหน้าท้อง**

ยึดระหว่างกระดูกซี่โครงกับเชิงกราน ช่วยป้องกันอวัยวะภายในและเสริมความแข็งแรงของผนังหน้าท้อง

=> Rectus abdominis : กล้ามเนื้อถูกปกคลุมโดยพังผืดทางด้านหน้า เรียกว่า anterior rectus sheath ซึ่งเกิดมาจากแผ่นพังผืดของกล้ามเนื้อหน้าท้องด้านข้าง 3 มัด กล้ามนี้ทำงานร่วมกับกล้ามเนื้ออื่นๆ ในการพยุงอวัยวะภายใน ทำให้เกิดแรงดันในช่องท้อง ทำให้กระดูกเชิงกรานอยู่ในลักษณะคงที่โดยเฉพาะเวลาเดิน

=> External abdominal obligue : ทำให้เกิดแรงดันในช่องท้อง

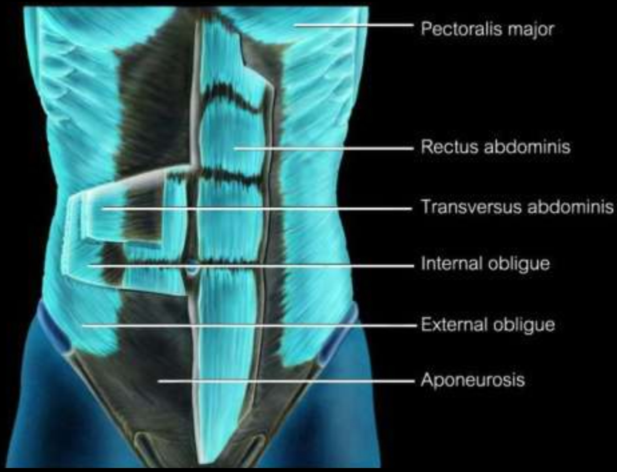
=> Internal abdominal obligue : ทำให้เกิดแรงดันในช่องท้อง

=> Transverse abdominis : มีหน้าที่กดผนังช่องท้อง ใต้กล้ามเนื้อนี้จะมีแผ่นพังผืดบางๆ เรียกว่า transverse fascia และ ใต้ fascia นี้ลงไปจะเป็นเยื่อบุช่องท้อง

=> Quadratus lumborum : ทำหน้าที่งอลำตัวและช่วยในการหายใจ

=> Pyramidalis : มีขนาดเล็กอยู่หน้าต่อกล้ามเนื้อ Rectus abdominis

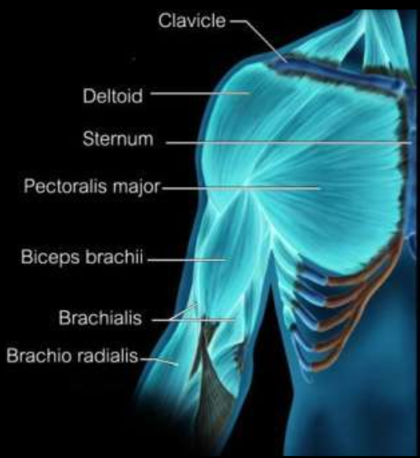
=> Psoas major : ทำหน้าที่งอลำตัวและต้นขา




รูปที่ 6-11 แสดงกล้ามเนื้อหน้าท้อง

**1.4.13 กล้ามเนื้อต้นแขน**

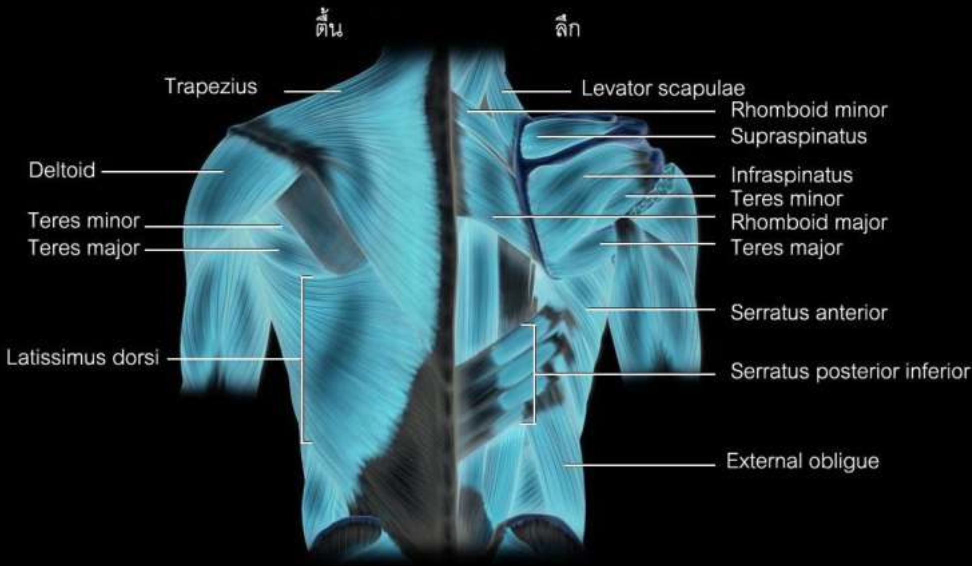
ทำหน้าที่เคลื่อนไหวแขนและปลายแขน ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Coracobrachialis : งอและหุบแขน, Biceps brachii : งอและหงายปลายแขน, Brachialis : งอปลายแขน, Triceps : เหยียดแขน



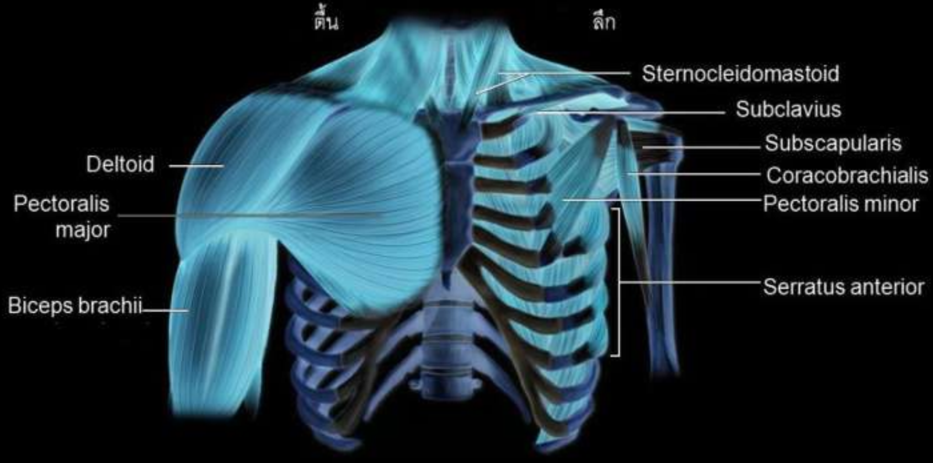

รูปที่ 6-13 แสดงกล้ามเนื้อต้นแขน

**1.4.14 กล้ามเนื้อช่วงไหล่** แบ่งเป็น 2 กลุ่ม

**กลุ่มที่ 1** เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของช่วงไหล่และช่วยตรึงกระดูก scapula ให้อยู่กับที่ ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Serratus anterior, Pectoralis minor, Subclavius, Trapezius, Levator scapulae, Rhomboid major และ Rhomboid minor



**กลุ่มที่ 2** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของต้นแขน ประกอบด้วย Pectoralis major, Latissimus dorsi, Deltoid, Subscapularis, Supraspinatus, Infraspinatus, Teres major และ Teres minor




รูปที่ 6-12 แสดงกล้ามเนื้อช่วงไหล่ข้างหน้า (A) และข้างหลัง (B) ระดับตื้นและระดับลึก

### 1.4.15 กล้ามเนื้อปลายแขน

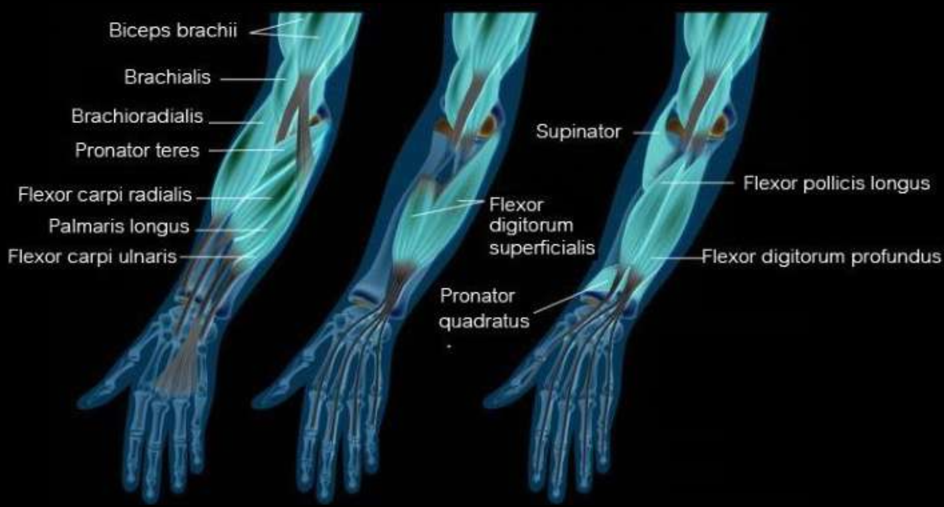
ทำหน้าที่หงายและคว่ำมือ ได้แก่ กล้ามเนื้อ Supinator : หงายมือ, Pronator teres : คว่ำมือ และ Pronator quadratus : คว่ำมือ

### 1.4.16 กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอข้อมือ มือ และนิ้วมือ

ได้แก่ Flexor carpi radialis, Palmaris longus, Flexor carpi ulnaris, Flexor digitorum superficialis, Flexor digitorum profundus และ Flexor pollicis longus

### 1.4.17 กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เหยียดข้อมือ มือ และนิ้วมือ

ได้แก่ Extensor carpi radialis longus, Extensor carpi radialis brevis, Extensor digitorum, Extensor digiti minimi, Extensor carpi ulnaris, Extensor pollicis longus, Extensor pollicis brevis, Abductor pollicis longus, Extensor indicis



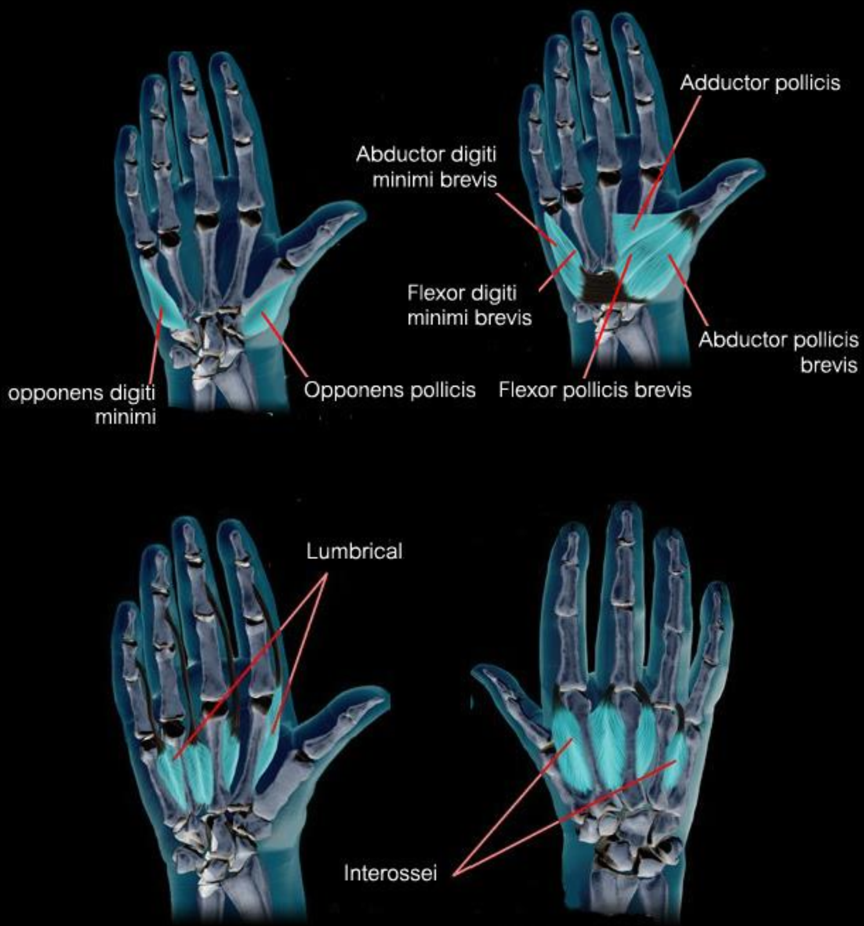

รูปที่ 6-14 แสดงกล้ามเนื้อของปลายแขน

**1.4.18 กล้ามเนื้อมือ** เป็นกล้ามเนื้อมัดเล็กๆ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวที่ละเอียด แบ่งเป็น 3 กลุ่ม

**1. กล้ามเนื้อด้านหัวแม่มือ (Thenar muscles)** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของนิ้วหัวแม่มือ ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Abductor pollicis brevis, Flexor pollicis brevis, Opponens pollicis

**2. กล้ามเนื้อระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วก้อย (Intermediate muscles)** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Lumbrical 1-4, Adductor pollicis, Palmar interossei 1-3, Dorsal interossei 1-4

**3. กล้ามเนื้อด้านนิ้วก้อย (Hypothenar muscle)** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของนิ้วก้อย ได้แก่ กล้ามเนื้อ Palmaris brevis, Abductor digiti minimi, Flexor digiti minimi และ Opponens digiti minimi



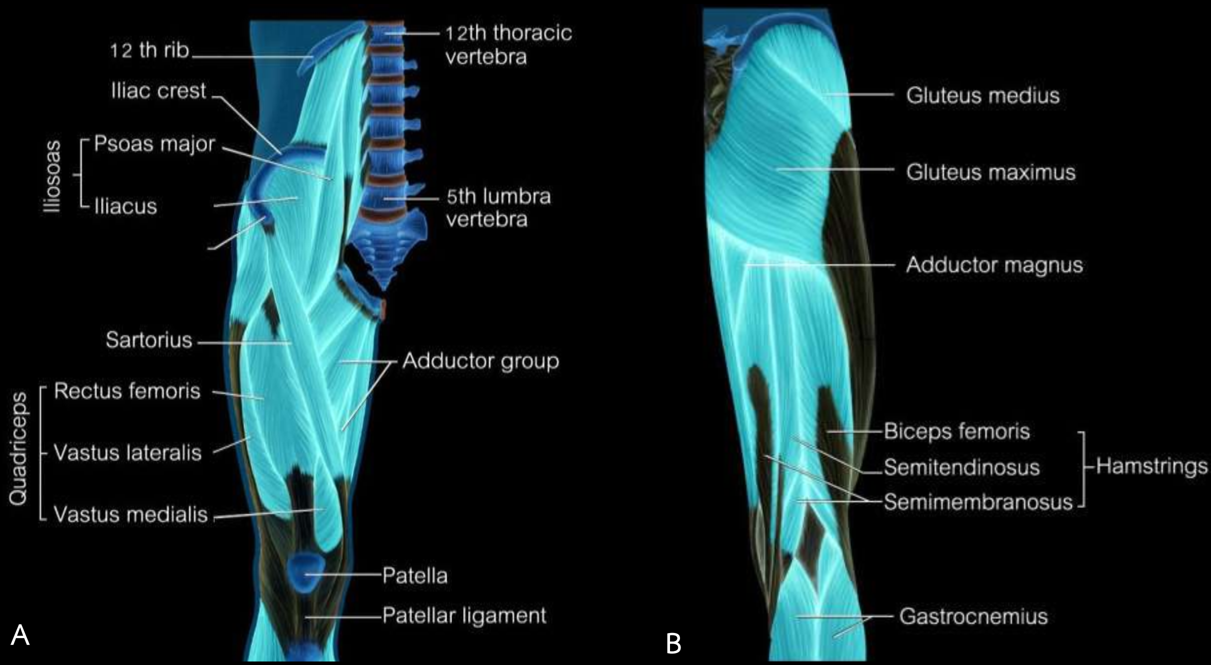

รูปที่ 6-15 แสดงกล้ามเนื้อมือ

**1.4.19 กล้ามเนื้อต้นขา** ทำหน้าที่ช่วยในการเสริมความคงตัวของข้อสะโพกในขณะที่มีการเคลื่อนไหว ช่วยค้ำจุนร่างกาย และพยุงท่าทางในขณะยืน

**กล้ามเนื้อด้านหน้า** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Quadriceps femoris (ประกอบด้วย 4 มัดย่อย ได้แก่ Rectus femoris, Vastus lateralis, Vastus medialis, Vastus intermedius) ทำหน้าที่เหยียดปลายขา และกล้ามเนื้อ Sartorius ทำหน้าที่งอต้นขาและปลายเท้า

**กล้ามเนื้อด้านใน** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Adductor magnus (หุบต้นขา) Adductor longus (หุบและงอต้นขา) Adductor brevis (หุบและงอต้นขา) Pectineus (หุบและงอต้นขา) Glacilis (หุบต้นขา)

**กล้ามเนื้อด้านหลัง** ได้แก่กล้ามเนื้อ Biceps femoris, Semitendinosus และ Semimembranosus กล้ามเนื้อทั้ง 3 มัดนี้ รวมเรียกว่า hamstrings ทำหน้าที่เหยียดต้นขาและงอปลายขา

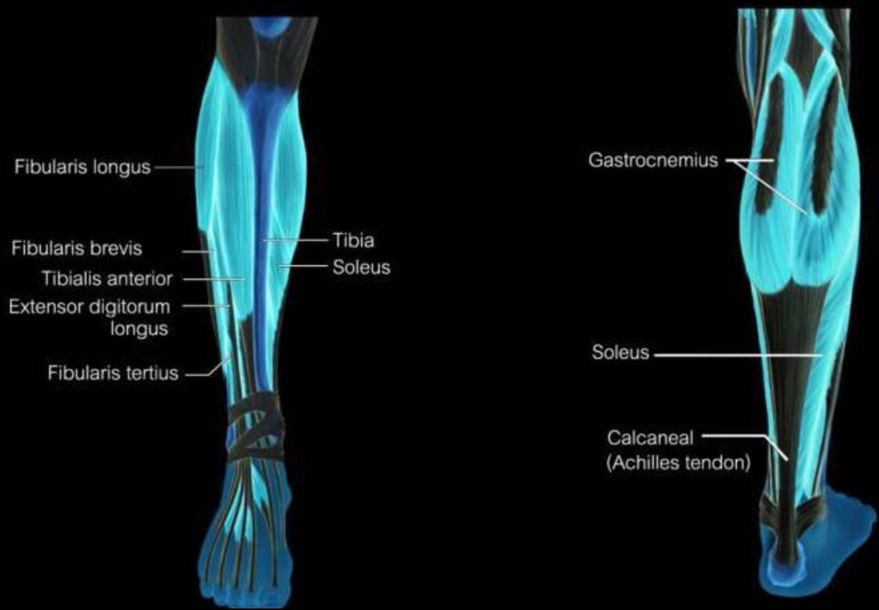



รูปที่ 6-16 แสดงกายวิภาคของกล้ามเนื้อต้นขาทางด้านหน้า (A) และด้านหลัง (B)

**1.4.20 กล้ามเนื้อปลายขา** ประกอบด้วย

=> **กล้ามเนื้อด้านหน้า** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Tibialis anterior, Extensor hallucis longus, Extensor digitorum longus และ Peroneus กล้ามเนื้อกลุ่มนี้ทำหน้าที่กระดกปลายเท้าขึ้น และเหยียดนิ้วเท้า

=> **กล้ามเนื้อด้านนอก** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Peroneus longus, Peroneus brevis ทำหน้าที่กระดกปลายเท้าลง และหันฝ่าเท้าออกทางด้านนอก



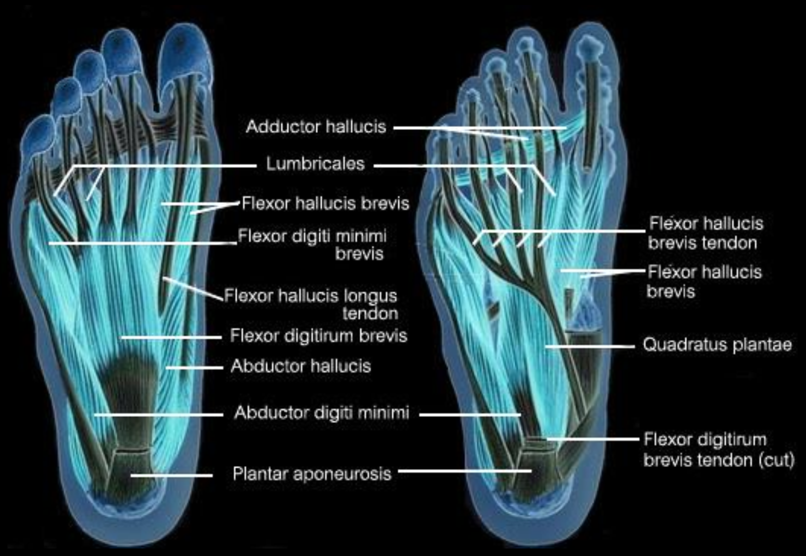

รูปที่ 6-17 แสดงกล้ามเนื้อปลายขาทางด้านหน้า (A) และทางด้านหลัง (B)

=> **กล้ามเนื้อด้านหลัง** มี 2 กลุ่ม กลุ่มตื้น ได้แก่ กล้ามเนื้อ Gastrocnemius, Soleus, Plantaris เอ็นของกล้ามเนื้อเหล่านี้รวมกันเป็นเส้นเอ็นเดียว เรียกว่า Achilles tendon ทำหน้าที่กระดกปลายเท้าลง กลุ่มลึก ได้แก่ กล้ามเนื้อ Popliteus, Flexor hallucis longus, Flexor digitorum longus และ Tibialis posterior กลุ่มนี้ทำหน้าที่กระดกปลายเท้าลง งอนิ้วเท้า และหันฝ่าเท้าเข้าด้านใน

**1.4.21 กล้ามเนื้อเท้า** มีลักษณะการเรียงตัวคล้ายกับการเรียงตัวของกล้ามเนื้อมือ แต่มีหน้าที่แตกต่างกัน การทำงานส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการค้ำจุน และการเคลื่อนไหวขณะเดิน

**กลุ่มที่อยู่ด้านหลังเท้า** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Extensor digitorum brevis และ Extensor hallucis brevis

**กลุ่มที่อยู่ด้านฝ่าเท้า** ได้แก่ กล้ามเนื้อ Abductor hallucis, Flexor digitorum brevis, Abductor digiti minimi, Quadratus plantae, Lumbrical 1-4, Flexor hallucis brevis, Adductor hallucis, Flexor digiti minimi brevis, Dorsal interossei 1-4 และ Plantar interossei 1-3




รูปที่ 6-18 แสดงกล้ามเนื้อเท้า

**1.4.22 กล้ามเนื้อของพื้นช่องเชิงกราน** รวมกับแผ่นพังผืดที่คลุมทับทางด้านบนและด้านล่าง ประกอบกันเป็นกระบังลมของเชิงกราน (pelvic diaphragm) มีลักษณะเป็นรูปกรวย ทำหน้าที่รองรับและค้ำจุนอวัยวะในอุ้งเชิงกราน มีอวัยวะสำคัญที่ทะลุผ่าน ได้แก่ ทวารหนัก หลอดปัสสาวะ และช่องคลอด กล้ามเนื้อของพื้นช่องเชิงกรานประกอบด้วยกล้ามเนื้อ

=> Levator ani : ค้ำจุนอวัยวะในอุ้งเชิงกราน

=> Coccygeus : ในการขับถ่ายอุจจาระ

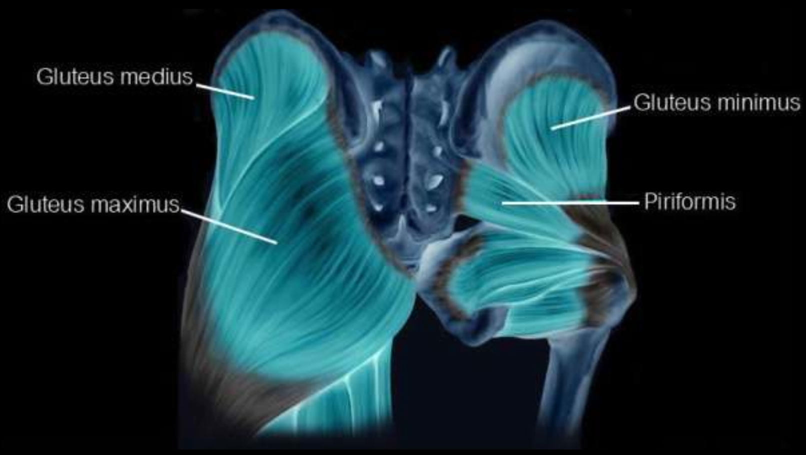
**1.4.23 กล้ามเนื้อก้น** กล้ามเนื้อกลุ่มนี้ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของต้นขา ประกอบด้วย

=> Gluteus maximus : เป็นกล้ามเนื้อขนาดใหญ่สุดในร่างกาย ทำหน้าที่ในการกางขาและเหยียดต้นขา

=> Gluteus medius และ Gluteus minimus : ทำหน้าที่กางขา และหมุนต้นขาออกด้านใน

=> Piriformis : ทำหน้าที่กางขา และหมุนต้นขาออกด้านนอก

=> Obturator internus : ทำหน้าที่กางขา และหมุนต้นขาออกด้านนอก
=> Obturator externus : ทำหน้าที่หมุนต้นขาออกด้านนอก
=> Superior gemellus และ Inferior gemellus : ทำหน้าที่กางขา หมุนต้นขาออกด้านนอก
=> Quadratus femoris : ทำหน้าที่หุบขา และหมุนต้นขาออกด้านนอก
=> Tensor fasciae latae : ทำหน้าที่งอและกางต้นขา




รูปที่ 6-19  แสดงกล้ามเนื้อก้น

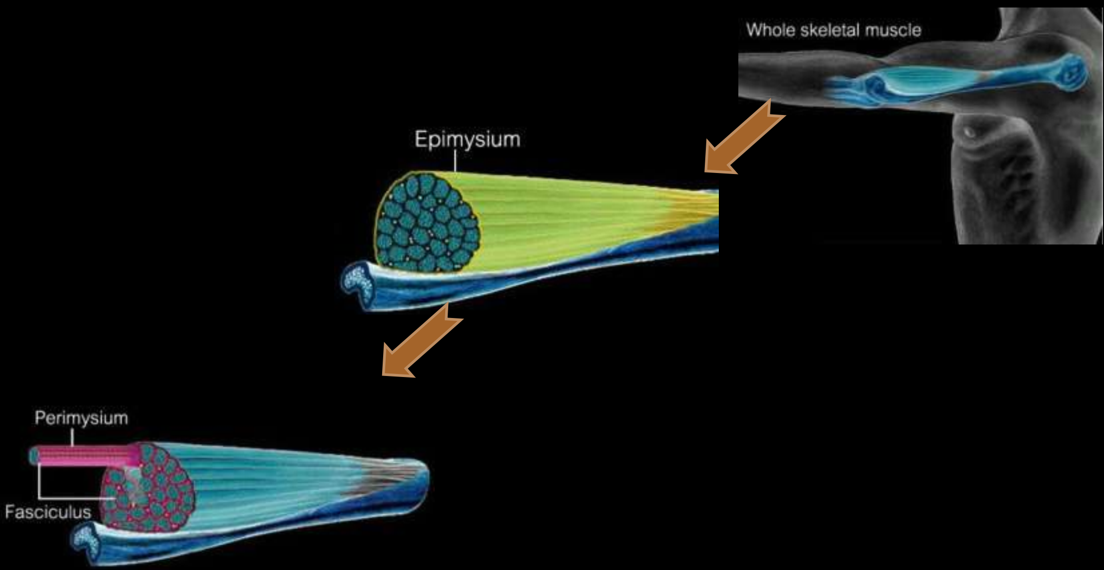
## ตอนที่ 2
## สรีรวิทยาการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Muscle physiology)

### 2.1 กล้ามเนื้อลาย

กล้ามเนื้อลายเป็นกล้ามเนื้อที่มีเซลล์ขนาดใหญ่ มีโครงสร้างลักษณะที่มีความชัดเจน ง่ายต่อการศึกษา ดังนั้น การศึกษาส่วนใหญ่จึงใช้กล้ามเนื้อลายเป็นหลัก และใช้ความรู้ต่างๆ จากการศึกษากล้ามเนื้อลายเป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบกับกล้ามเนื้อหัวใจและกล้ามเนื้อเรียบ

#### 2.1.1 โครงสร้างของกล้ามเนื้อลาย

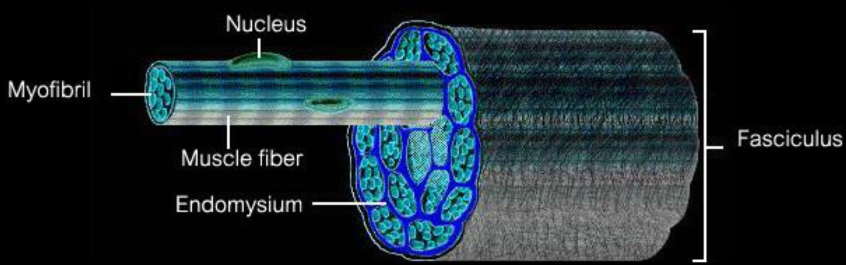
กล้ามเนื้อลายมัดหนึ่งๆ ภายนอกมีเยื่อหุ้ม เรียกว่า **epimysium** ภายในประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ เรียกว่า **fasciculus** จำนวนมาก แต่ละ fasciculus มีเยื่อหุ้ม เรียกว่า **perimysium**




รูปที่ 6-20 แสดงภาพตัดขวางของมัดกล้ามเนื้อ (whole skeletal muscle)

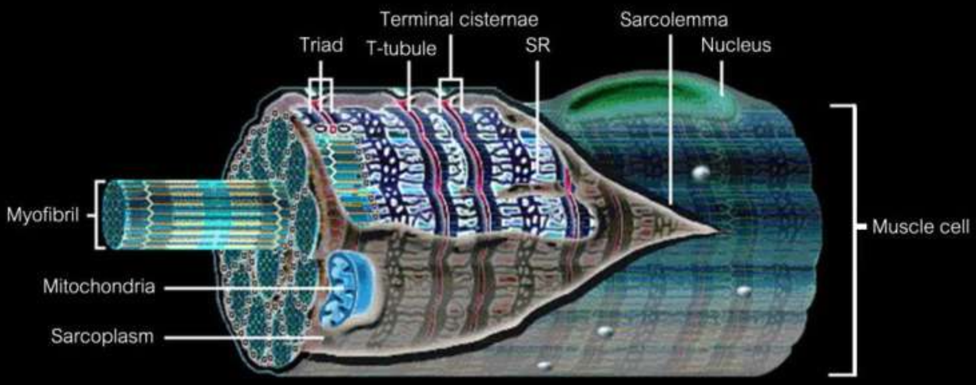
ในแต่ละ fasciculus ประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อ หรือเส้นใยกล้ามเนื้อ เรียกว่า **muscle cell, muscle fiber** เป็นจำนวนมาก เรียงตัวขนานกันและอยู่รวมกันเป็นมัด ด้านปลายทั้ง 2 ข้างจะยึดติดกับเอ็นซึ่งยึดติดกับกระดูกอีกทีหนึ่ง เส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละเส้นประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ เรียกว่า เส้นใยกล้ามเนื้อเล็ก หรือ **myofibril**

ในแต่ละ myofibril ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อฝอย หรือ myofilament ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่สุดของกล้ามเนื้อ เส้นใยกล้ามเนื้อฝอย มี 2 ชนิด คือ **เส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแบบหนา (thick filament)** และ**เส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแบบบาง (thin filament)**




รูปที่ 6-21 แสดงโครงสร้างภายในของเส้นใยกล้ามเนื้อ (fasciculus)

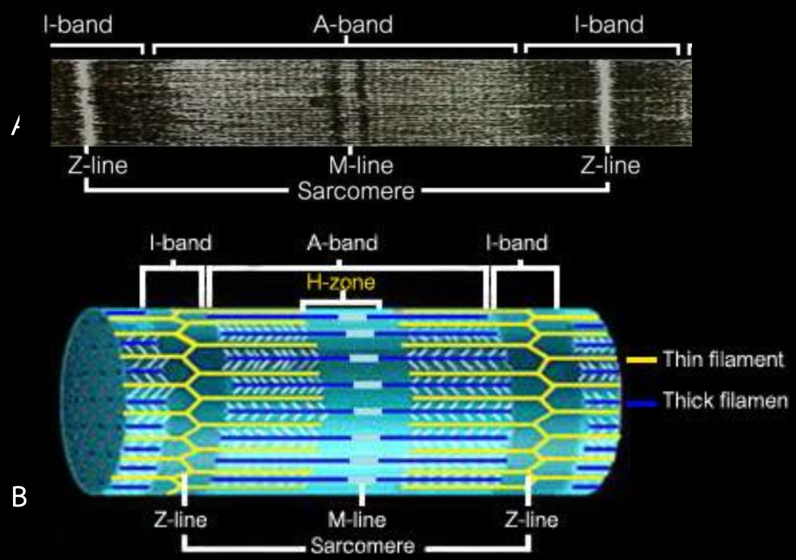
**1.1 เซลล์กล้ามเนื้อลาย** มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก มีผนังหุ้มเซลล์เรียกว่า sarcolemma เซลล์มีนิวเคลียสหลายอันเรียงอยู่บริเวณขอบๆ ของเซลล์ ภายในไซโตพลาสซึมมี thick filament และ thin filament จำนวนมากมาย นอกจากนี้ยังพบ mitochondria และ endoplasmic reticulum หรือเรียกอีกชื่อว่า sarcoplasmic reticulum (SR) แทรกตัวอยู่ทั่วไประหว่างไฟบริล




รูปที่ 6-22 แสดงโครงสร้างภายในของเซลล์กล้ามเนื้อลาย

**1.2 ระบบซาร์โคทิวบูลาร์** เซลล์กล้ามเนื้อถูกล้อมรอบด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นท่อ 2 ท่อ คือ SR เป็นท่อตามยาววิ่งขนานไปกับไฟบริล และแผ่เป็นม่านโอบแต่ละไฟบริลไว้ ปลายของ SR จะโป่งเป็นกระเปาะ เรียกว่า Terminal cisterna ซึ่งภายในบรรจุแคลเซียมไว้มากมาย นอกจากนี้ไฟบริลยังถูกล้อมรอบด้วยท่อตามขวางอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า transverse tubule (T-tubule) ซึ่งเกิดจากผนังเซลล์ยื่นเข้าไปในเซลล์

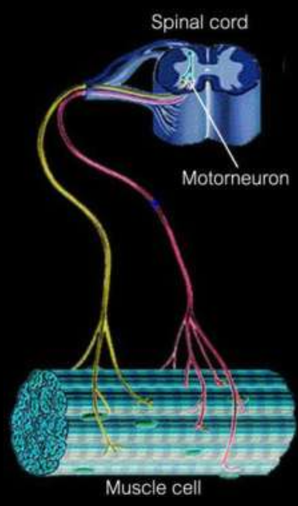
**1.3 ลายของกล้ามเนื้อ** เกิดจากการเรียงตัวของ thick filament และ thin filament อย่างมีระเบียบทำให้เกิดเป็นแถบทึบและจางสลับกันไป บริเวณทึบเรียกว่า anisotropic band (A-band) เกิดจากการเรียงตัวซ้อนกันของ thick และ thin filament อย่างเป็นระเบียบ ส่วนแถบจาง เรียกว่า Isotropic band (I-band) ซึ่งมีแต่ thin filament อย่างเดียว




รูปที่ 6-23 แสดงลายของกล้ามเนื้อลาย (A) และภาพวาดแสดง thick และ thin filament (B)

แถบจางนี้จะถูกแบ่งครึ่งโดยเส้นทึบ เรียกว่า Z-line บริเวณที่อยู่ระหว่าง Z-line สองเส้น เรียกว่า ซาร์โคเมียร์ (sarcomere) ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานของเซลล์ ใน A-band จะมีแถบจางตรงกลาง เรียกว่า H-zone ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มี thin filament ยื่นเข้ามาใน A-band

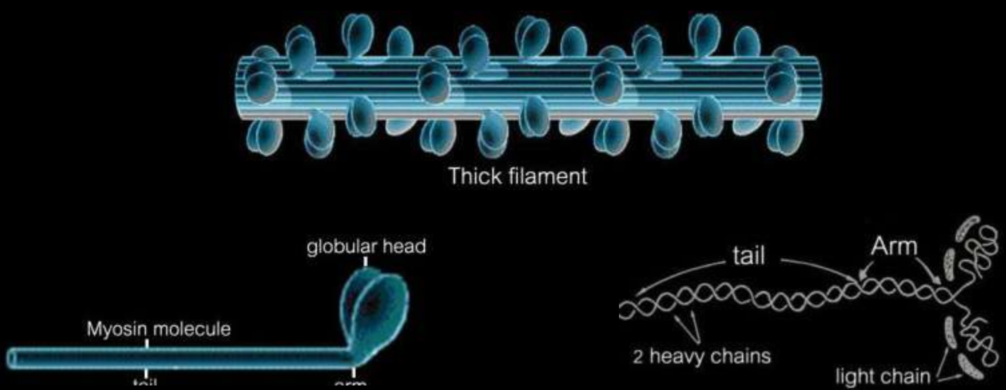
**1.4 มอเตอร์ยูนิต** กล้ามเนื้อแต่ละมัดมีเส้นประสาทมาเลี้ยงมากมาย เส้นประสาทแต่ละเส้นยังแตกแขนงไปเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อเป็นจำนวนมาก เราเรียกมอเตอร์นิวรอน 1 ตัว กับกลุ่มของเซลล์กล้ามเนื้อที่ถูกเลี้ยงโดยมอเตอร์นิวรอน นั้นว่า **มอเตอร์ยูนิต (motor unit)** มอเตอร์ยูนิตอาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่ ยิ่งมอเตอร์ยูนิตที่มีขนาดเล็กมาก กล้ามเนื้อยิ่งมีความละเอียดและแม่นยำสูงในการทำงาน




รูปที่ 6-24 แสดงมอเตอร์ยูนิต

**2.1.2 องค์ประกอบทางชีวเคมีของฟิลาเมนต์**

**1) เส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแบบหนา (thick filament)** ประกอบด้วยโปรตีนไมโอซิน (myosin) ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยโปรตีนจำนวน 6 เส้น คือเส้นใยโปรตีนชนิดหนัก (heavy chain) จำนวน 2 เส้น และเส้นใยโปรตีนชนิดเบา (light chain) จำนวน 4 เส้น เส้นใยโปรตีนชนิดเบาและส่วนปลายด้าน N-terminal จะรวมกันเป็นส่วนหัว (globular head) ของไมโอซิน ส่วนหาง (tail) ของไมโอซินเกิดจากการพันเป็นเกลียวของเส้นใยโปรตีนหนัก 2 เส้น ในโครงสร้างของไมโอซิน มีจุดอ่อนอยู่หลายตำแหน่ง ทำให้โมเลกุลของไมโอซินบิดพับได้




รูปที่ 6-25 แสดงโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแบบหนา

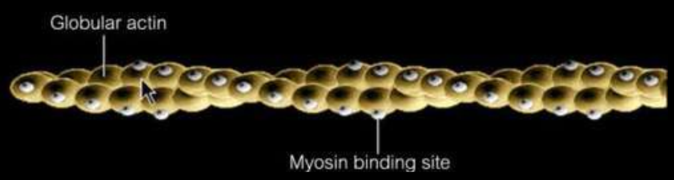
ใน thick filament แต่ละเส้น ประกอบด้วยไมโอซินหลายหน่วย โดยมีส่วนหางเกาะกันเป็นแกนกลางของฟิลาเมนต์ และมีส่วนหัวยื่นออกไปในทิศทางตรงข้าม ที่ส่วนหัวนี้มีตำแหน่งที่สำคัญ 2 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่ให้โปรตีนแอกตินมาเกาะ เรียกว่า actin binding site และตำแหน่งที่มีเอ็นไซม์ ATPase ซึ่งมีหน้าที่สลาย ATP ที่เข้ามาจับกับตัวรับ ATP binding site เพื่อให้พลังงาน




รูปที่ 6-26 แสดงการเข้าจับของ ATP กับตัวรับ ATP binding site

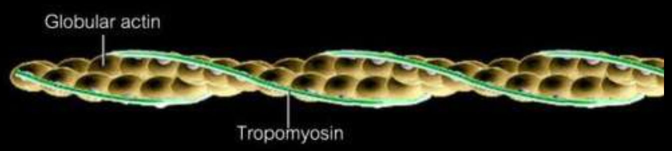
**2) เส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแบบบาง (thin filament)** ประกอบด้วยโปรตีนสำคัญ 3 ชนิด

**2.2.1 แอกติน (Actin)** เป็นโปรตีนที่มีลักษณะกลมเรียก Globular actin (G-actin) ขณะที่ G-actin เมื่ออยู่ในไซโตพลาสซึม จะเรียงตัวต่อกันเป็นเส้นบางๆ เรียก Fibrous actin (F-actin) ใน thin filament จะประกอบด้วย F-actin สองเส้นพันกันเป็นเกลียวคล้ายเชือก และจะมีตำแหน่งให้หัวของไมโอซินมาเกาะ เรียกว่า myosin binding site

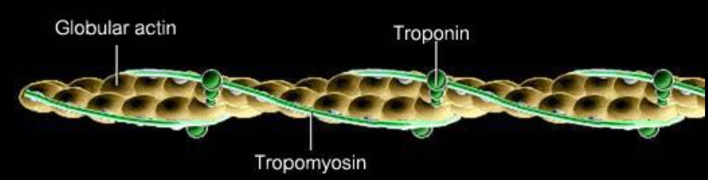



รูปที่ 6-27 แสดงลักษณะของแอกติน

**2.2.2 โทรโพไมโอซิน (Tropomyosin)** เป็นโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นใย 2 เส้นพันกันและฝังในร่องของ F-actin




**2.2.3 โทรโพนิน (Troponin)** เป็นโปรตีนขนาดเล็กมี 3 หน่วยย่อย ได้แก่ Troponin C (มีความสามารถในการจับกับแคลเซียม, Troponin T (ทำหน้าที่ยึดโทรโพนินเข้ากับโทรโพไมโอซิน) และ Troponin I (มีหน้าที่ยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อ)



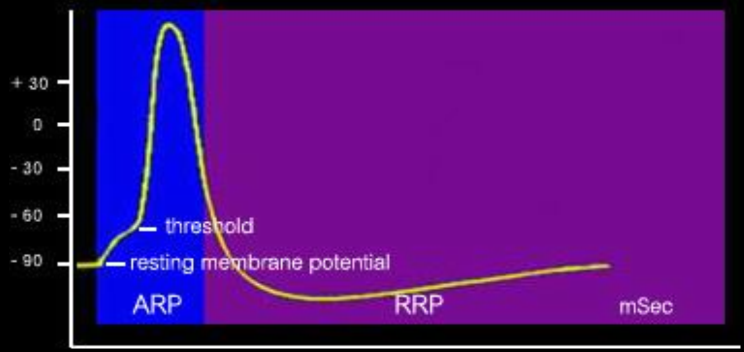

รูปที่ 6-29 แสดงลักษณะของโทรโพนิน

**2.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า**

กล้ามเนื้อลายมีค่าศักดิ์ไฟฟ้าขณะพัก (resting membrane potential) ประมาณ -90 mv และเมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นจนเกิดดีโพลาไรเซชั่นถึงระดับเทรชโฮลด์ (threshold) หรือประมาณ -60 mv จะเกิดแอกชั่นโพเทนเชียลของกล้ามเนื้อลาย โดยปกติใช้เวลาประมาณ 1-5 mSec หลังจากเกิดแอกชั่นโพเทนเชียลแล้ว เซลล์กล้ามเนื้อจะไม่ตอบสนองต่อตัวกระตุ้นตัวใหม่ทันที เซลล์ต้องมีระยะเวลาพักสักครู่จึงจะตอบสนองได้ ระยะพักนี้มี 2 ระยะ

**1. ระยะดื้อแท้ (Absolute refractory period : ARP)** ระยะนี้เซลล์ไม่ตอบสนองต่อตัวกระตุ้นใดเลย ไม่ว่าจะกระตุ้นแรงเท่าใด ระยะนี้เริ่มตั้งแต่เซลล์กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นจนเกิดดีโพลาไรเซชั่น จนถึงประมาณ 1/3 ของระยะเวลาทั้งหมดของรีโพลาไรเซชั่น

**2. ระยะดื้อสัมพัทธ์ (Relative refractory period : RRP)** เป็นระยะที่ผนังเซลล์ของกล้ามเนื้อเริ่มคืนตัวสามารถตอบสนองต่อการกระตุ้นได้บ้าง เป็นช่วงเวลาที่ต่อจากช่วงระยะดื้อแท้จนถึงช่วงหลังรีโพลาไรเซชั่น

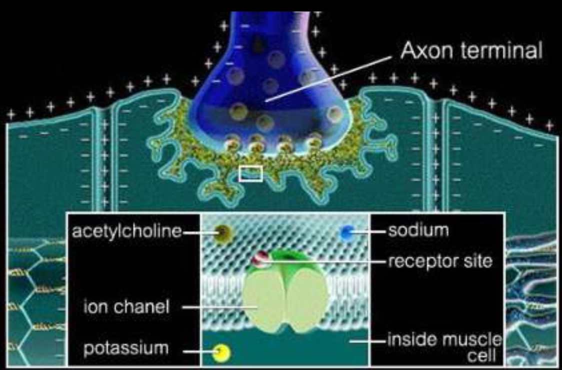



รูปที่ 6-30 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้า

**2.1.4 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย (Excitation contraction coupling)**

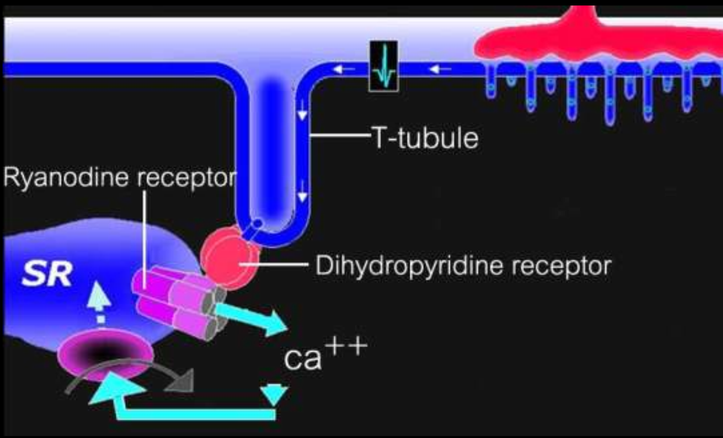
การหดตัวของกล้ามเนื้อลายเป็นกระบวนการที่เกิดอย่างต่อเนื่องตั้งแต่กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นจนถึงกล้ามเนื้อเกิดการตอบสนองด้วยการหดตัว แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

**1) การเร้ากล้ามเนื้อ** การเร้ากล้ามเนื้อลายอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ ทำงานในรูปของสัญญาณไฟฟ้าจากประสาทส่วนกลางผ่านมอเตอร์นิวรอนในไขสันหลัง เมื่อมีสัญญาณประสาทมาถึงรอยต่อของประสาทและกล้ามเนื้อจะทำให้มีการหลั่งสารสื่อประสาทอะเซทิลโคลีน ซึ่งจะแพร่ผ่านช่องว่างซินแนปส์ ไปเข้าจับกับตัวรับที่อยู่บนผิวกล้ามเนื้อ ทำให้คุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์มีการเปลี่ยนแปลง โดยยอมให้โซเดียมผ่านเข้ามาภายในเซลล์ เกิดดีโพลาไรเซชั่น และเมื่อมีดีโพลาไรเซชั่นสูงถึงระดับเทรชโฮลด์ จะทำให้เกิดแอกชั่นโพเทนเชียล ซึ่งจะถูกส่งผ่านไปตามเยื่อหุ้มเซลล์และผนังของ T-tubule




รูปที่ 6-31 แสดงการเร้ากล้ามเนื้อ

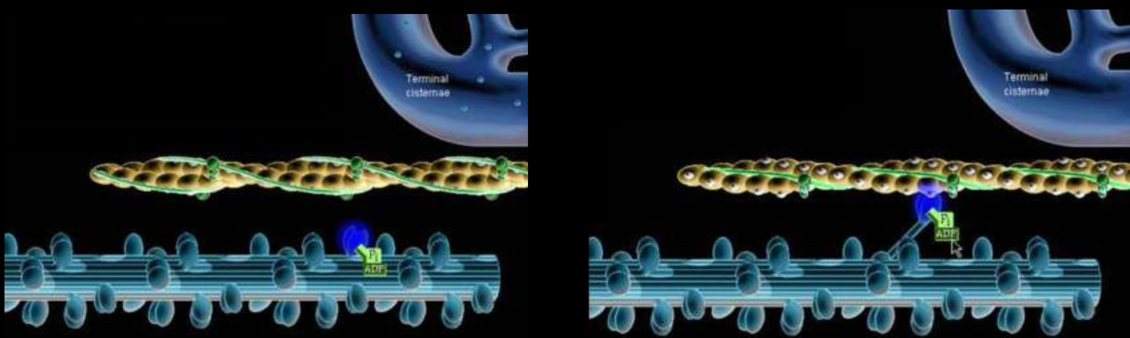
**2) การส่งสัญญาณบริเวณไทรแอด** บริเวณที่ T-tubule และส่วนปลายของ SR มาพบกันมีการพัฒนาไปพิเศษ โดยที่ T-tubule จะมีโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้สัญญาณ เรียกว่า ไดไฮโดรไพริดีนรีเซปเตอร์ (dihydropyridine receptor) เรียงห่างกันเป็นระยะและอยู่ตรงข้ามกับโปรตีนไรยาโนดีนรีเซปเตอร์ (ryanodine receptor) เมื่อแอกชั่นโพเทนเชียลเดินทางเข้าสู่ T-tubule จะทำให้ไดไฮโดรไพริดีนรีเซปเตอร์เกิดการเคลื่อนไหวและส่งผลให้ไรยาโนดีนรีเซปเตอร์ปล่อยแคลเซียมออกมา




รูปที่ 6-32 แสดงการส่งสัญญาณบริเวณไทรแอด

**3) การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฟิลาเมนต์** เมื่อกล้ามเนื้ออยู่ในระยะพัก ทั้ง thick และ thin filament ต่างอยู่กันเป็นอิสระ เนื่องจากมี troponin-I ทำหน้าที่ยับยั้ง โดยที่โทรโพไมโอซินจะปิดบังตำแหน่ง myosin binding site ไว้ ไม่ให้หัวของไมโอซินเข้ามาเกาะ กล้ามเนื้อจึงไม่หดตัว

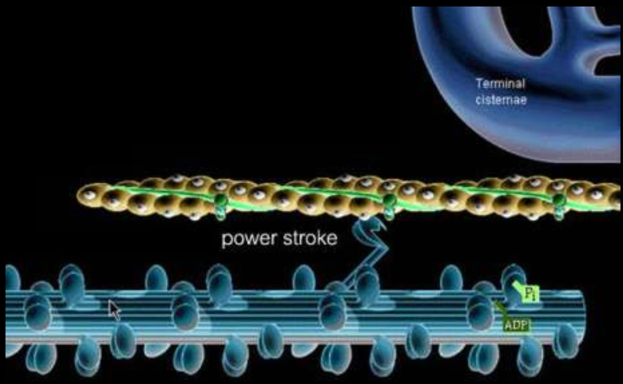
เมื่อกล้ามเนื้อถูกกระตุ้นแคลเซียมจาก SR จะจับกับ troponin-C มีผลให้โมเลกุลของโทรโพไมโอซิน ขยับตัวไปอยู่ในร่องของ F-actin และเปิดตำแหน่งบนแอกตินให้หัวของไมโอซินเข้ามาเกาะ



รูปที่ 6-33 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฟิลาเมนต์

**4) การหดตัวของกล้ามเนื้อ** เมื่อไมโอซินจับกับแอกติน พลังงานที่เก็บสะสมไว้ที่หัวของไมโอซินจะถูกปล่อยออกมาและใช้ไปในการเคลื่อนที่ของไมโอซินเข้าสู่ศูนย์กลางของซาร์โคเมียร์ การเคลื่อนที่ของหัวไมโอซินนี้ เรียกว่า power stroke ขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวพบว่าความกว้างของ A-band ไม่เปลี่ยนแปลง ความยาวของ thick และ thin

filament ไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ความกว้างของซาร์โคเมียร์แคบลง แสดงว่าการหดตัวนี้เกิดจากการเลื่อนตัวของ thick และ thin filament ทฤษฎีการหดตัวนี้ เรียกว่า sliding filament theory




รูปที่ 6-34 การหดตัวของกล้ามเนื้อเมื่อไมโอซินจับกับแอกติน

**5) การคลายตัวของกล้ามเนื้อ** ขณะที่กล้ามเนื้อหดตัว แคลเซียมที่รวมตัวกับ troponin C จะอยู่ได้เพียงชั่วครู่เดียว เนื่องจากจะถูกปั๊มกลับเข้า SR โดยแคลเซียมปั๊ม เมื่อแคลเซียมรอบไฟบริลลดต่ำลง กล้ามเนื้อจะคลายตัว เนื่องจากจะไม่มีการจับกับระหว่างแอกตินและไมโอซิน

### 2.1.5 คุณสมบัติทางกลศาสตร์

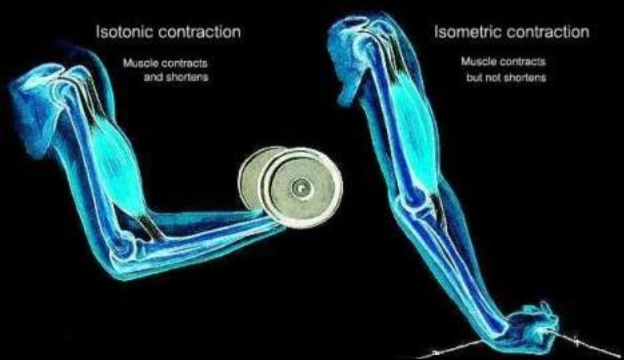
**2.1.5.1 ชนิดของการหดตัว**

**1) การหดตัวแบบแรงตึงคงที่ (Isotonic contraction)**

=> การหดตัว ความยาวของใยกล้ามเนื้อลดลงแต่แรงตึงในกล้ามเนื้อคงที่ การหดตัวชนิดนี้ทำให้วัตถุเคลื่อนที่

=> การยืดของกล้ามเนื้อ เกิดขึ้นเมื่อแรงที่มากระทำมีมากกว่าแรงที่เกิดจากการหดตัว ทำให้กล้ามเนื้อถูกยืดออก

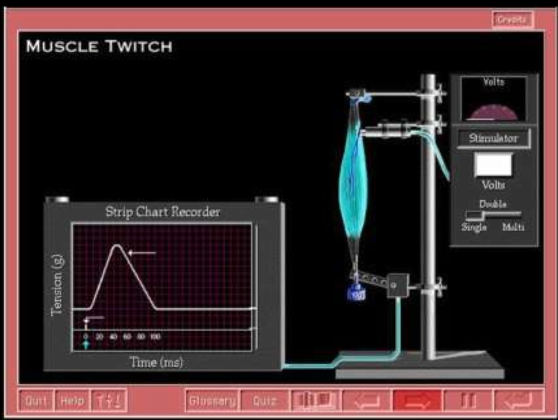
**2) การหดตัวแบบความยาวคงที่ (Isometric contraction)** กล้ามเนื้อหดตัวโดยที่ความยาวของกล้ามเนื้อทั้งชิ้นไม่เปลี่ยนแปลง การหดตัวแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อแรงต้านหรือน้ำหนักวัตถุที่จะยกมีมากกว่าแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ การหดตัวแบบนี้ไม่เกิดการเคลื่อนที่ของวัตถุจึงไม่มีงานเกิดขึ้น




รูปที่ 6-35 การหดตัวของกล้ามเนื้อเมื่อไมโอซินจับกับแอกติน

**2.1.5.2 การหดตัวแบบทวิทช์**

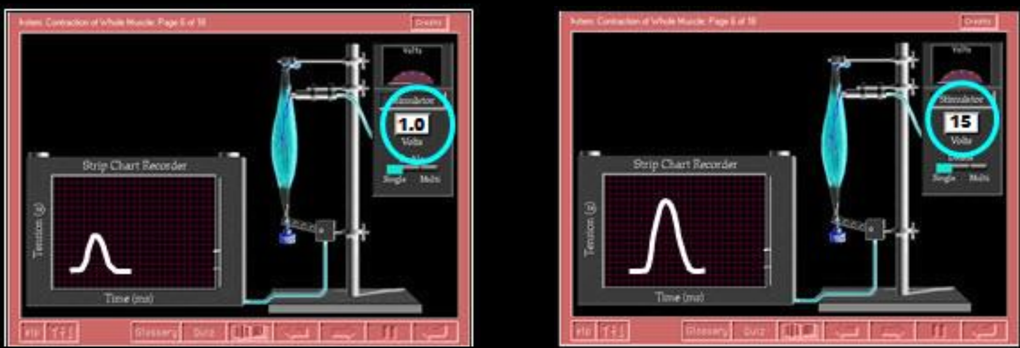
การหดตัวของกล้ามเนื้อแต่ละครั้ง เรียกว่า ทวิทช์ (twitch) การหดตัวนี้ไม่ได้เกิดทันที แต่จะมีระยะแฝง (latent period) ก่อน การหดตัวของกล้ามเนื้อมี 2 ระยะ ระยะเวลาตั้งแต่กล้ามเนื้อเริ่มมีการหดตัวจนกระทั่งให้แรงสูงสุด เรียกว่า ระยะเวลาหดตัว (contraction time) และระยะเวลาตั้งแต่กล้ามเนื้อให้แรงตึงสูงสุดจนกล้ามเนื้อคลายตัวกลับสู่ปกติ เรียกว่า ระยะเวลาคลายตัว (relaxation time)




รูปที่ 6-35 แสดงการหดตัวของกล้ามเนื้อ เมื่อไมโอซินจับกับแอกติน

**2.1.5.3 ขนาดของแรงหดตัว**

**1) จำนวนมอเตอร์ยูนิตที่ทำงาน** กล้ามเนื้อแต่ละมัดมีจำนวนมอเตอร์ยูนิตไม่เท่ากัน จึงเริ่มตอบสนองต่อตัวกระตุ้นต่างกัน ความแรงของตัวกระตุ้นต่ำสุดที่ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้ เรียก threshold stimulus

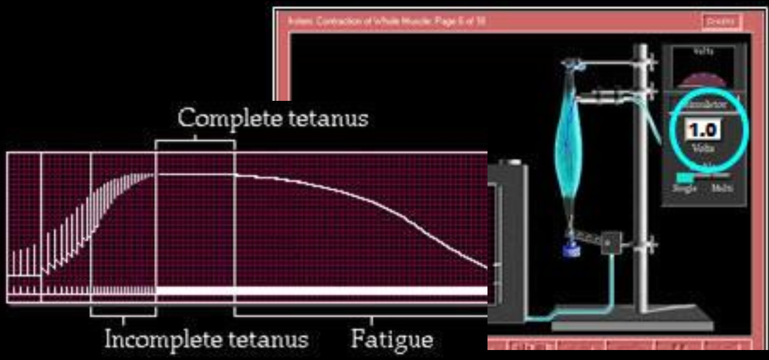



รูปที่ 6-37 แสดงจำนวนมอเตอร์ยูนิตที่ทำงาน

ถ้ากล้ามเนื้อถูกกระตุ้นด้วยความแรงต่ำเกินไป (subthreshold stimulus) กล้ามเนื้อจะไม่ตอบสนอง ถ้าเพิ่มความแรงของตัวกระตุ้น การหดตัวของกล้ามเนื้อก็จะมากขึ้น จนถึงจุดๆ หนึ่งกล้ามเนื้อก็จะไม่หดตัวเพิ่มขึ้นอีก เรียกความแรงของตัวกระตุ้นที่ทำให้เกิดแรงหดตัวได้มากที่สุดว่า maximus stimulus และเมื่อกล้ามเนื้อหดตัวได้แรงสูงสุด แสดงว่ามอเตอร์ยูนิตในมัดกล้ามเนื้อได้ทำงานและตอบสนองต่อตัวกระตุ้นทั้งหมด แล้ว (motor unit summation)

**2) การรวมแรง** ถ้ากล้ามเนื้อถูกกระตุ้นหลายๆ ครั้ง ด้วยความถี่สูง จะพบว่า แรงที่เกิดจากการหดตัวมีค่าสูงกว่าแรงที่เกิดจากการหดตัวที่เกิดจากการกระตุ้นกล้ามเนื้อเพียงครั้งเดียว เนื่องจากไม่ต้องเสียแรงที่ใช้ใน

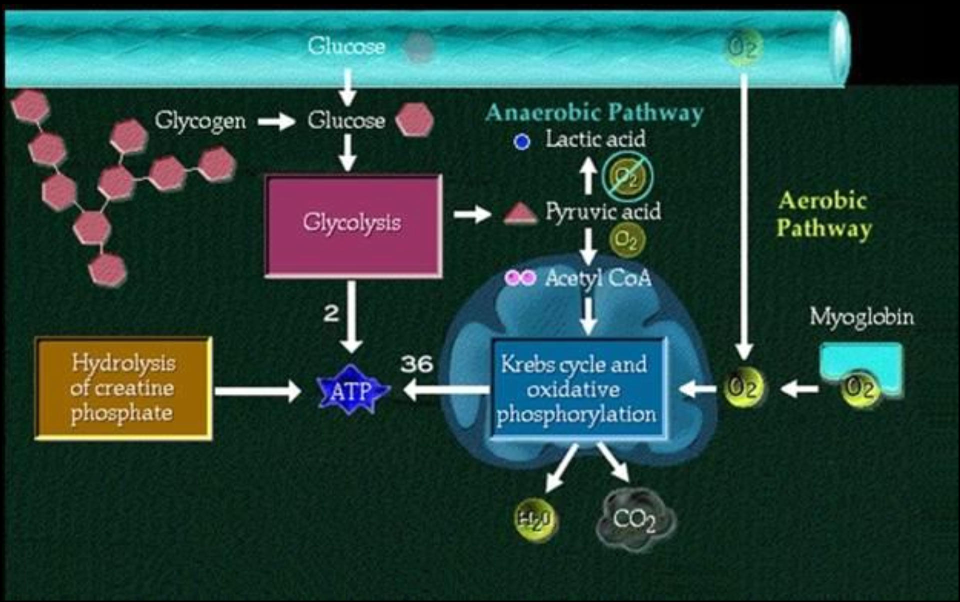
การยึดเอ็นหัวท้ายของมัดกล้ามเนื้ออีก การรวมแรงอาจเป็นแบบสมบูรณ์ (complete tetanus) หรือเป็นแบบไม่สมบูรณ์ (complete tetanus)




รูปที่ 6-38 แสดงการรวมแรง

**2.1.6 พลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ**

แหล่งพลังงานได้มาจากอาหารที่ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกลูโคส กรดไขมัน หรือสะสมไว้ในรูปของไกลโคเจน สารเหล่านี้จะให้พลังงานในรูปของ ATP ในขณะพัก ATP ที่มีอยู่ใช้ในการรักษาความเข้มข้นของ อิออนระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อกล้ามเนื้อหดตัว มีความจำเป็นต้องใช้ ATP มากขึ้น พลังงานที่ใช้ในการหดตัวส่วนใหญ่จะมาจากการสร้าง ATP โดยกระบวนการแบบใช้ออกซิเจน (oxidative phosphorylation) และแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic phosphorylation)




รูปที่ 6-39 แสดงพลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

**2.1.7 ชนิดของเซลล์กล้ามเนื้อ**

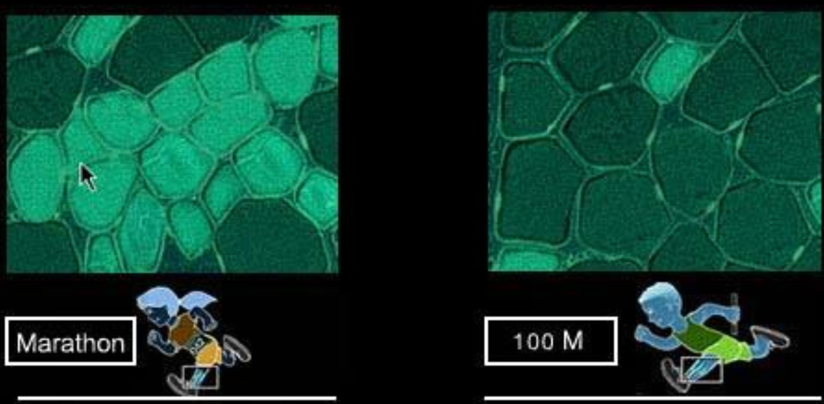
เซลล์กล้ามเนื้อมีการพัฒนาและปรับตัวให้เหมาะสมกับการทำงานและการใช้พลังงานของเซลล์ เซลล์กล้ามเนื้อมนุษย์แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กล้ามเนื้อหดตัวช้า (slow twitch muscle, Type I) และกล้ามเนื้อหด

ตัวเร็ว (fast twitch muscle, Type II) โดยพิจารณาจากความเร็วและระยะเวลาในการหดตัวของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้คุณสมบัติทางเคมียังมีความแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นเราจึงจำแนกเซลล์กล้ามเนื้อในมนุษย์เป็น 3 ชนิด

**ตารางที่ 6-1 แสดงคุณสมบัติของเซลล์กล้ามเนื้อลาย 3 ชนิด**

| | ชนิดที่ I<br>Slow oxidative | ชนิดที่ II A<br>Fast oxidative | ชนิดที่ II B<br>Fast glycolytic |
|---|---|---|---|
| **การสร้าง ATP** | ใช้ออกซิเจน | ใช้ออกซิเจน | ไม่ใช้ออกซิเจน |
| **ไมโตคอนเดรีย** | มาก | มาก | น้อย |
| **ไมโอโกลบิน** | สูง | สูง | น้อย |
| **ความเร็วในการหดตัว** | ช้า | เร็ว | เร็ว |
| **เส้นเลือดฝอย** | มาก | มาก | น้อย |
| **ปริมาณไกลโคเจน** | ต่ำ | ปานกลาง | สูง |
| **ขนาดมอเตอร์ยูนิต** | เล็ก | ปานกลาง | ใหญ่ |

การพัฒนาไปเป็นเซลล์กล้ามเนื้อชนิดใดนั้น เริ่มต้นเมื่อเด็กในครรภ์อายุ 20 สัปดาห์ และเสร็จสิ้นการพัฒนาเมื่ออายุ 1 ปี การพัฒนาของเซลล์กล้ามเนื้อนี้ อยู่ภายใต้อิทธิพลของเส้นประสาทที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อนั้นๆ

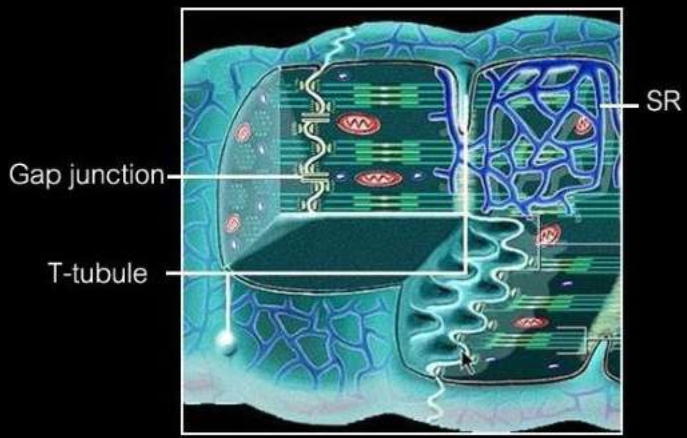



รูปที่ 6-40 แสดงเซลล์กล้ามเนื้อลายชนิดหดตัวช้า (A) ที่พบในนักวิ่งมาราธอน กล้ามเนื้อจะมีสีแดงเนื่องจากมี ไมโอโกลบินมาก เมื่อเปรียบเทียบกับนักวิ่งระยะสั้น (B)

ในเพศชายเซลล์ของกล้ามเนื้อลายจะมีขนาดใหญ่และแข็งแรงกว่าเซลล์กล้ามเนื้อของเพศหญิง เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมน testosterone ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ไมโอซินและแอกติน การใช้ฮอร์โมนนี้เพื่อเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ มีผลยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมอง ในผู้ชายจะทำให้อัณฑะฝ่อ ส่วนในเพศหญิงจะไม่มีการตกไข่ ประจำเดือนมาผิดปกติ ลดขนาดของเต้านมและลักษณะของเพศหญิง

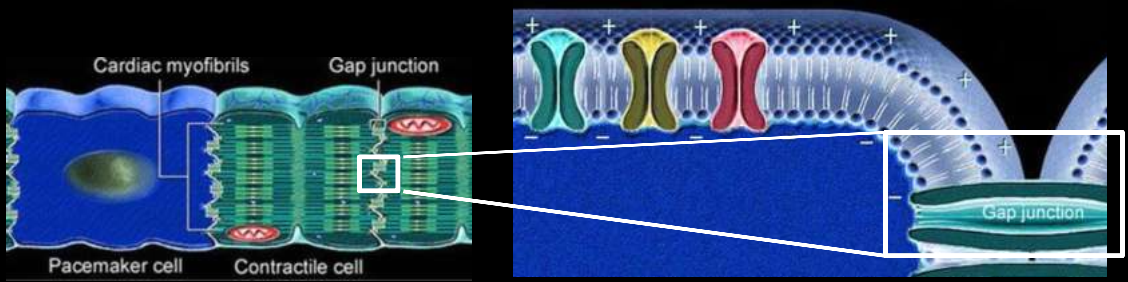
## 2.2 กล้ามเนื้อหัวใจ

กล้ามเนื้อหัวใจประกอบเป็นผนังหัวใจ ภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีองค์ประกอบต่างๆ เหมือนในเซลล์กล้ามเนื้อลาย แต่มีเส้นใยฟิลาเมนต์น้อยกว่าประมาณครึ่งหนึ่งของกล้ามเนื้อลาย นอกจากนี้ SR เป็นเพียงท่อเล็กๆ ไม่มีการพัฒนาเป็นกระเปาะเพื่อเก็บแคลเซียม ดังนั้นจึงไม่พบไทรแอด แต่จะพบไดแอด คือ บริเวณที่ SR สัมผัสกับ T-tubule เท่านั้น




รูปที่ 6-41 แสดงองค์ประกอบภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีแถบและลายคล้ายกับที่พบในกล้ามเนื้อลาย แต่มีขนาดเล็กกว่า มีนิวเคลียส 1 อัน อยู่กลางเซลล์ เซลล์ไม่ได้อยู่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ ตอนปลายของเซลล์จะแตกแขนงและเชื่อมโยงติดต่อกับเซลล์ใกล้เคียง บริเวณที่เซลล์เชื่อมติดต่อกันจะอยู่ตรง Z-line จึงทำให้เกิดแถบทึบ เรียกว่า Intercalated disc บริเวณใกล้กับแถบทึบจะพบการสัมผัสกันของผนังเซลล์เกิดเป็นช่อง เรียกว่า Nexuses หรือ gap junction เชื่อว่าเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าแพร่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งได้รวดเร็วขึ้น




รูปที่ 6-42 แสดงลักษณะของ Nexuses

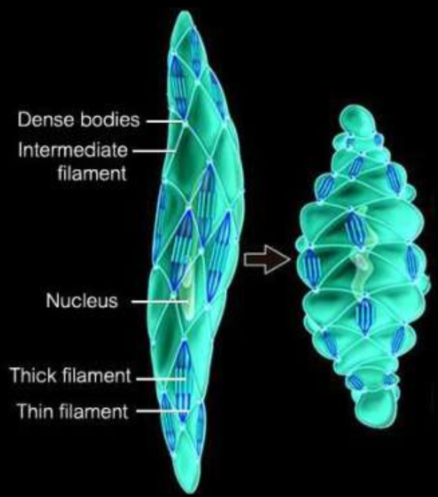
### 2.2.1 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ

โดยทั่วไปกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจคล้ายกล้ามเนื้อลาย ขณะที่แอกชั่นโพเทนเชียลจะมีแคลเซียมจากนอกเซลล์เคลื่อนเข้าสู่เซลล์ในช่วงแรกๆ ของแอกชั่นโพเทนเชียล โดยผ่านช่องทางแคลเซียม ($Ca^{++}$ channel) บนเยื่อหุ้มเซลล์ แคลเซียมที่เข้าสู่เซลล์จะชักนำให้มีการหลั่งแคลเซียมจาก SR เรียกกลไกนี้ว่า การชักนำการหลั่งแคลเซียมโดยแคลเซียม ($Ca^{++}$ induced $Ca^{++}$ release)

## 2.3 กล้ามเนื้อเรียบ

กล้ามเนื้อเรียบเป็นกล้ามเนื้อที่พบได้ทั่วไปที่ผนังอวัยวะภายใน เป็นกล้ามเนื้อที่ไม่มีลาย สามารถหดตัวติดต่อกันได้เป็นเวลานาน โดยใช้พลังงานน้อย

เซลล์กล้ามเนื้อเรียบมีลักษณะเป็นรูปกระสวย มีนิวเคลียส 1 อัน อยู่กลางเซลล์ เซลล์มี SR ที่ไม่พัฒนาและมีขนาดเล็ก ไม่มี T-tubule เซลล์ประกอบด้วยแอกตินต่อหน่วยปริมาตรเท่ากับในกล้ามเนื้อลาย แต่มี ไมโอซินเพียง 1 ใน 5 ของกล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบประกอบด้วยร่างแหของฟิลาเมนต์ขนาดกลางที่ยึดติดอยู่กับเด็นส์บอดี้ (dense bodies) เพื่อเป็นโครงสร้างภายใน




รูปที่ 6-43 แสดงองค์ประกอบภายในเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ

เด็นส์บอดี้มีโปรตีน แอลฟ่าแอคตินิน (alpha actinin) เป็นองค์ประกอบเหมือนที่พบใน Z-line ของกล้ามเนื้อลาย เส้นใยแอกติน เชื่อมโยงอยู่กับเด็นส์บอดี้และเยื่อหุ้มเซลล์ และสานร่างแหอยู่กับเส้นใยไมโอซิน

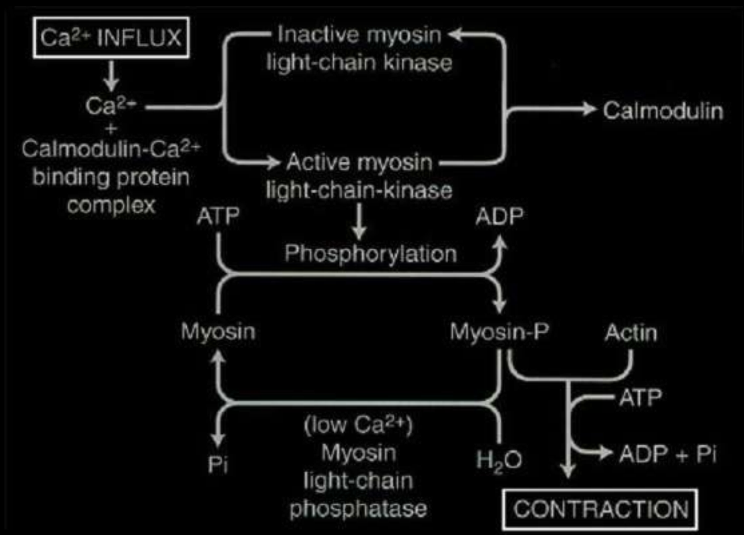
### 2.3.1 การเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบ

เมื่อมีตัวกระตุ้นที่เหมาะสม บนตัวรับที่ผนังเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ ทำให้เกิดขบวนการดังนี้ แคลเซียมจากภายนอกเซลล์และแคลเซียมจาก SR เข้าจับกับ calmodulin เกิดเป็น $Ca^{2+}$- Calmodulin complex ไปกระตุ้น myosin light chain kinase ให้มีฤทธิ์(active myosin light chain kinase) โดยเติม phosphate (phosphorylation) ให้ myosin ได้เป็น myosin-P ซึ่งมีสามารถดึง actin เข้ามาหา ทำให้เกิดการหดตัว (contraction) ของกล้ามเนื้อ ส่วนในสภาวะที่มีแคลเซียมต่ำ เอ็นไซม์ myosin light chain phosphatase จะแยก myosin-P ออกเป็น myosin และ phosphate

กล้ามเนื้อเรียบของทางเดินอาหาร ในขณะคลายตัวจะยังคงมีแรงตึงตัวอยู่เล็กน้อย เรียกว่า tone หรือ tonus และจะไม่มีการคลายตัวอย่างสมบูรณ์ถ้าเซลล์ยังไม่ตาย

กล้ามเนื้อเรียบมี SR ขนาดเล็กและไม่พัฒนาเท่ากับกล้ามเนื้อลาย เซลล์กล้ามเนื้อเรียบมีขนาดเล็ก ใช้แคลเซียมนอกเซลล์แทนแคลเซียมในเซลล์จาก SR การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบเกิดขึ้นอย่างช้าๆ นานประมาณ 200 มิลลิวินาที

เมื่อกล้ามเนื้อถูกกระตุ้น แคลเซียมจะเคลื่อนเข้าสู่เซลล์โดยผ่านช่องแคลเซียม ซึ่งเปิดปิดเมื่อมีศักย์ ไฟฟ้าของผนังเซลล์ที่เหมาะสม เมื่อแคลเซียมเข้ามาในเซลล์จะรวมกับโปรตีนแคลโมดูลิน (calmodulin) ซึ่งการรวมตัวนี้ทำให้เอ็นไซม์ไมโอซินไลท์เชนไคเนส (myosin light chain kinase) เคลื่อนย้ายฟอสเฟตจาก ATP ไปให้ไมโอซินชนิดเบา ทำให้ไมโอซินอยู่ในสภาวะที่จะสามารถจับกับแอกทินได้ ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว




รูปที่ 6-44 แสดงการเร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบ

************************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต  สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

วีไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and  Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบหายใจ
(Anatomy and Physiology of Respiratory system)

**จำนวน** 8 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับ กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบหายใจ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกการแบ่งโครงสร้างระบบหายใจได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายกายวิภาคและสรีรวิทยาของจมูก กล่องเสียงหลอดลม ปอด ถุงลมปอด เยื่อหุ้มปอด กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจ และการไหลเวียนเลือดในปอดได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายกลไกการหายใจเข้าออกปกติได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงความดันปอดและปริมาตรปอดขณะหายใจได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายปริมาตรอากาศจากการหายใจและความจุปอดได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายความสามารถในการขยายปริมาตรปอดได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายแรงตึงผิวที่ถุงลมปอด และสารลดแรงตึงผิวได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายการไหลเวียนเลือดที่ระบบหายใจได้อย่างถูกต้อง
9. อธิบายการกระจายเลือดไปยังส่วนต่างๆ ของปอดได้อย่างถูกต้อง
10. อธิบายเรื่องการระบายอากาศที่ปอดได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายเรื่องสัดส่วนการระบายอากาศและเลือดที่ปอดได้อย่างถูกต้อง
12. ระบุชื่อกฎของแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนแก๊สได้อย่างถูกต้อง
13. บอกวิธีการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนได้อย่างถูกต้อง
14. บอกวิธีการแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างถูกต้อง
15. บอกวิธีการขนส่งแก๊สออกซิเจนได้อย่างถูกต้อง
16. บอกวิธีการขนส่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างถูกต้อง
17. อธิบายวิธีควบคุมการหายใจโดยระบบประสาทได้อย่างถูกต้อง
18. บอกชื่อและอธิบายการทำงานของศูนย์ควบคุมการหายใจได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม

3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 7

****************************************

# ระบบหายใจ

# (Anatomy and Physiology of Respiratory system)

**ตอนที่ 1 กายวิภาคศาสตร์ระบบหายใจ**

1.1 โพรงจมูก (Nose)
1.2 คอหอย (Pharynx)
1.3 กล่องเสียง (Larynx)
1.4 หลอดลม (Trachea)
1.5 ปอด (Lung)
1.6 ถุงลมปอด (Alveoli)
1.7 เยื่อหุ้มปอด (Pleura)
1.8 กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจ
1.9 การไหลเวียนเลือดในปอด

**ตอนที่ 2 โครงสร้างและหน้าที่ของระบบหายใจ**

2.1 โครงสร้างและหน้าที่ระบบหายใจ
2.2 หน้าที่พิเศษของระบบหายใจ

**ตอนที่ 3 กลไกการหายใจ (Mechanism of Breathing)**

3.1 การหายใจเข้า-ออกปกติ
3.2 การหายใจออกแบบใช้พลังงาน
3.3 การเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาตรปอดขณะหายใจ
3.4 ปริมาตรอากาศจากการหายใจและความจุของปอด
3.5 ความสามารถในการขยายปริมาตรของปอด
3.6 แรงตึงผิวที่ถุงลมปอด และ สารลดแรงตึงผิว
3.7 ความต้านทานต่อการไหลของอากาศ
3.8 งานของการหายใจ
3.9 การทดสอบการทำงานของระบบหายใจ

**ตอนที่ 4 การไหลเวียนเลือดที่ระบบหายใจ และการไหลเวียนอากาศที่ปอด**

4.1 การไหลเวียนเลือดที่ระบบหายใจ
4.2 ความต้านทานของระบบไหลเวียนเลือดที่ปอด
4.3 ความดันในระบบไหลเวียนเลือดที่ปอด
4.4 การกระจายเลือดไปยังส่วนต่างๆ ของปอด

4.5 การระบายอากาศของปอด

4.6 การกระจายอากาศไปยังส่วนต่างๆ ของปอด

4.7 สัดส่วนการระบายอากาศและเลือดที่ปอด

**ตอนที่ 5 การแลกเปลี่ยนและการขนส่งแก๊ส**

5.1 กฎของแก๊ส

5.2 อากาศในบรรยากาศ

5.3 เนื้อเยื่อผนังถุงลมและหลอดเลือด

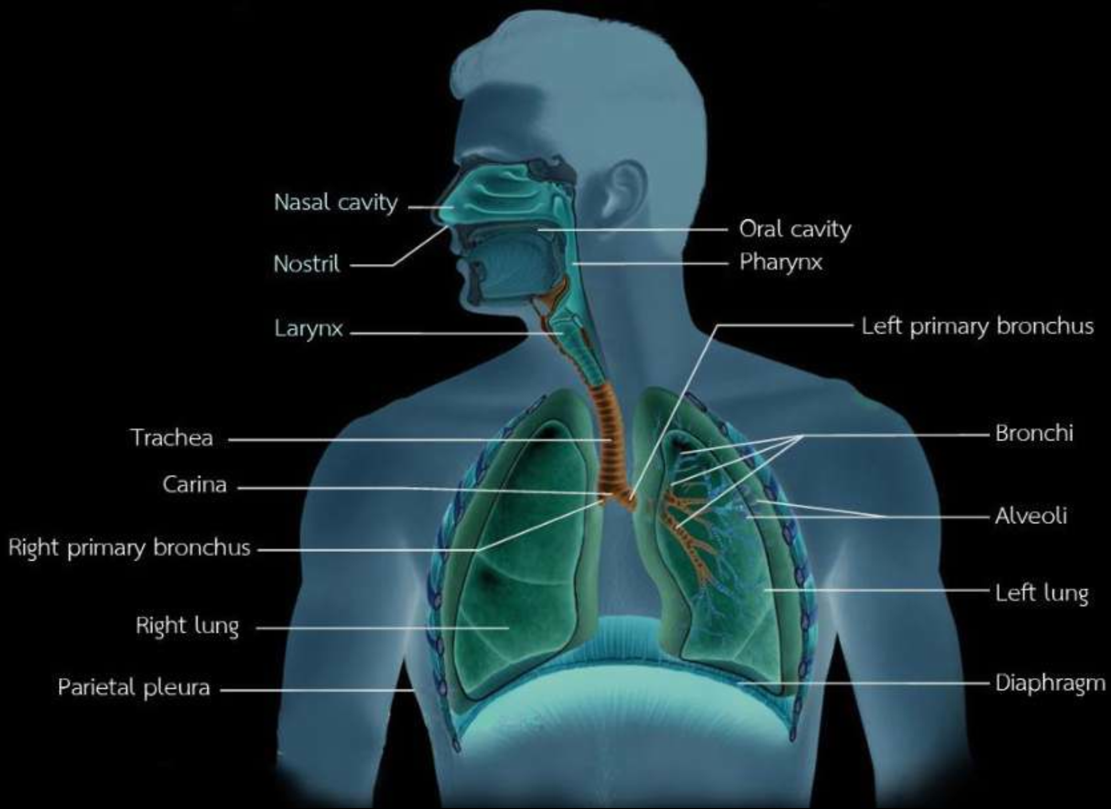
5.4 การแลกเปลี่ยนแก๊ส

5.5 การขนส่งแก๊ส

# บทที่ 7
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบหายใจ
# (Anatomy and Physiology of the Respiratory System)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม.สรีรวิทยา

สิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจน สำหรับนำไปใช้ในการสันดาปอาหาร ให้เกิดเป็นพลังงานในรูปของ ATP และมีความจำเป็นต้องกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดจากการสันดาปออกจากเซลล์และสิ่งแวดล้อมของเซลล์ มนุษย์มีร่างกายที่ใหญ่โตและซับซ้อนประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก และบรรจุอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นของเหลวภายในร่างกาย จำเป็นต้องมีกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการนำออกซิเจนไปให้เซลล์ต่างๆ ทั่วร่างกาย ให้เหมาะสมเพียงพอกับความต้องการในการใช้งาน และกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแต่ละเซลล์ขับออกมา ทั้งนี้เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อมของเซลล์ให้ทรงสภาพเหมาะสมกับการดำรงชีวิตและการทำงานของเซลล์ตลอดเวลา




รูปที่ 7-1 แสดงอวัยวะที่ประกอบขึ้นเป็นระบบหายใจ

## หน้าที่ของระบบหายใจ

1. การขนส่งและแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างอากาศภายนอกกับภายในร่างกาย ในระหว่างการหายใจเข้า อากาศในบรรยากาศซึ่งมีความเข้มข้นของ $O_2$ สูง และมี $CO_2$ ต่ำ จะถูกนำเข้าสู่ถุงลม ในขณะที่เลือดซึ่งมาเลี้ยงถุงลม จะมีความเข้มข้นของ $O_2$ ต่ำ และมี $CO_2$ สูงกว่าอากาศในถุงลม ถุงลมปอดและเส้นเลือดฝอยที่ปอดมีผนังที่บางมาก และมี

พื้นที่จำนวนมาก เอื้ออำนวยต่อการแพร่ของ $O_2$ ออกจากถุงลมปอดเข้าสู่เลือด ในขณะเดียวกัน มีการแพร่ของ $CO_2$ จากเลือดเข้าสู่ถุงลมปอด อากาศในถุงลมปอดที่มี $CO_2$ สูงนี้ จะระบายเข้าสู่บรรยากาศในขณะหายใจออก

2. ช่วยในการควบคุมสมดุลกรด - ด่าง ในร่างกาย การเพิ่มปริมาณ $CO_2$ ในร่างกาย นำไปสู่การเพิ่มปริมาณกรด และในทางกลับกัน การเพิ่มปริมาณกรดก็สามารถนำไปสู่การเพิ่มปริมาณ $CO_2$ ได้ โดยปฏิกิริยา ดังนี้

$$CO_2 + H2_O \rightleftharpoons H2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3-$$

3. ช่วยในการเปล่งเสียง เสียงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านสายเสียง ทำให้สายเสียงสั่นสะเทือน การร้องเพลง การเปล่งเสียงอื่นๆ เกิดขึ้นได้โดยการควบคุมกล้ามเนื้อช่วยหายใจผ่านระบบประสาทส่วนกลาง เพื่อทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศผ่านสายเสียงและปาก

4. ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากสิ่งแปลกปลอมจากอากาศที่หายใจ โดยวิธีการต่างๆ เช่น กระบวนการ mucociliary escalator การถูกเก็บกินโดยเซลล์ macrophage การถูกกำจัดออกทางระบบน้ำเหลือง การถูกย่อยสลายโดยเอ็นไซม์ต่างๆ หรือการถูกกำจัดโดยระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เป็นต้น

5. ทำหน้าที่เป็นแหล่งสำรองเลือด ในระบบไหลเวียนเลือดของปอด สามารถบรรจุเลือดไว้ได้ถึง 500 มล. ปอดจึงเป็นแหล่งสำรองเลือดในคราวจำเป็น

6. ช่วยทำหน้าที่เป็นแหล่งกรองเลือด สิ่งแปลกปลอมต่างๆ ลิ่มเลือด ฟองอากาศ ชิ้นส่วนของเซลล์ สิ่งแปลกปลอมอาจหลุดลอยเข้ามาในกระแสเลือด และอาจไปอุดตามเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงตามอวัยวะสำคัญ เช่น สมอง หัวใจ ดังนั้น เมื่อเลือดไหลผ่านร่างแหหลอดเลือดฝอยของปอดซึ่งมีจำนวนมาก สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้จะมาอุดที่เส้นเลือดฝอยของปอดแทน และจะถูกกำจัดออกจากหลอดเลือดฝอยปอดภายในระยะเวลา 4-5 วัน โดยการย่อยสลายของเซลล์ macrophage หรือถูกกำจัดออกทางระบบน้ำเหลือง

7. ทำหน้าที่ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของสารบางชนิด เช่น

7.1 การเปลี่ยนสาร angiotensin I ไปเป็น angiotensin II

7.2 สร้างและหลั่งสารที่มีผลต่อปอดเอง เช่น การสร้างสารลดแรงตึงผิว โดยเซลล์ Type II alveolar cells หรือสารอื่นๆ ได้แก่ ฮีสตามีน ซีโรโตนิน โพรสทาแกลนดิน ซึ่งอาจมีผลต่อทั้งปอดเองหรือต่อส่วนอื่นของร่างกาย

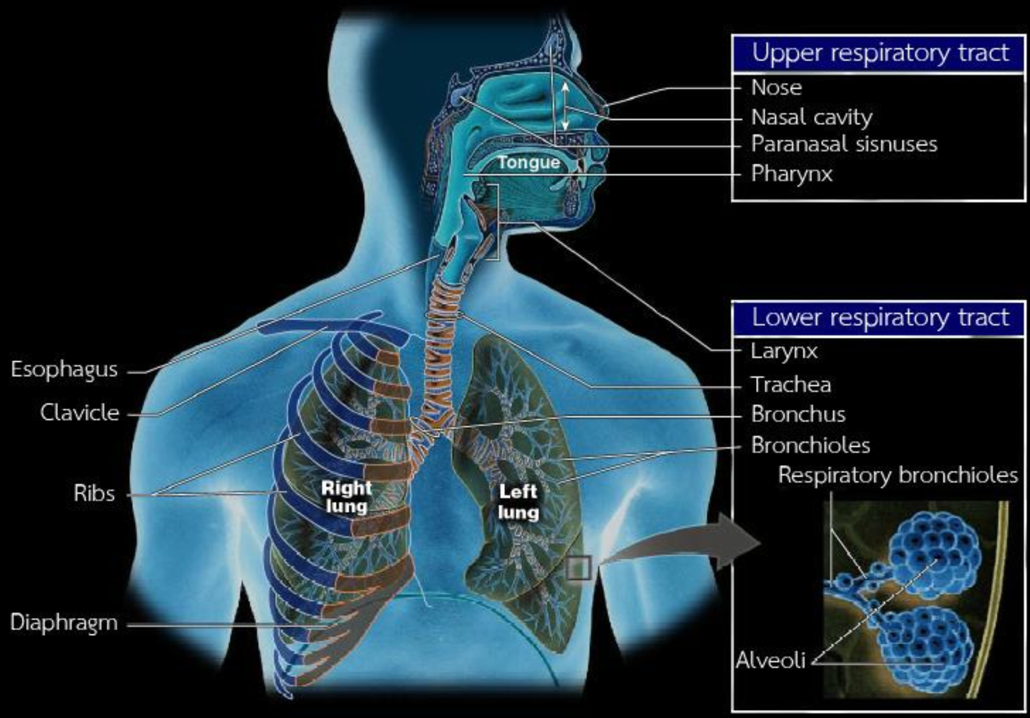
## ตอนที่ 1
## โครงสร้างของระบบหายใจ

โครงสร้างของระบบหายใจ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบ่งตามลักษณะโครงสร้าง และแบ่งตามหน้าที่การทำงาน

**1. แบ่งตามลักษณะโครงสร้าง** แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

**1) ทางเดินหายใจส่วนบน (Upper respiratory tract)** ประกอบด้วยจมูก (Nose) และคอหอย (Pharynx)

**2) ทางเดินหายใจส่วนล่าง (Lower respiratory tract)** ประกอบด้วย กล่องเสียง (Larynx), หลอดลมใหญ่ (Trachea) หลอดลมเล็ก (Bronchus) และปอด (Lung)




รูปที่ 7-2 อวัยวะในทางเดินหายใจส่วนบน และส่วนล่าง

**2. แบ่งตามหน้าที่การทำงาน** แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

**2.1 ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นท่อทางเดินอากาศ (Conduction portion)** เริ่มตั้งแต่โพรงจมูก (nasal cavity) คอหอย (pharynx) กล่องเสียง (larynx) หลอดลมใหญ่ (trachea) หลอดลมเล็ก (bronchus) หลอดลมฝอย (bronchiole) จนถึงหลอดลมฝอยส่วนปลาย (terminal bronchiole) เป็นส่วนที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ ท่อทางเดินอากาศมีหน้าที่สำคัญ 4 ประการ คือ

1) เป็นท่อทางเดินอากาศ ระหว่างบรรยากาศภายนอกกับถุงลมปอด

2) ให้ความชื้นแก่อากาศที่จะผ่านเข้าสู่ปอด โดยในขณะที่อากาศจากบรรยากาศที่มีความชื้นต่ำไหลผ่านท่อทางเดินอากาศ จะมีการระเหยของน้ำจากของเหลวที่สร้างและหลั่งจากต่อมบนผนังของท่อทางเดินอากาศส่วนต้น ทำให้อากาศที่ผ่านไปถึงถุงลมปอดอิ่มไปด้วยไอน้ำ มีความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 47 มม.ปรอท เหมาะสำหรับการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านถุงลมปอด นอกจากนี้ การระเหยของน้ำจากผนังท่อทางเดินอากาศ ยังเป็นการระบายความร้อนออกจากร่างกายด้วย

3) ช่วยอุ่นอากาศที่ผ่านเข้าสู่ปอดให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือใกล้เคียงอุณหภูมิกาย อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สที่บริเวณผนังถุงลมปอดได้สูงขึ้น

4) ทำความสะอาดอากาศที่เข้าสู่ปอดด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การกรองด้วยขนจมูกและการดักจับด้วยชั้นเยื่อเมือก ที่เคลือบผนังทางเดินอากาศ โดยขน (cilia) ของเซลล์ที่บุผนังท่อ จะโบกพัดให้ชั้นเยื่อเมือกพร้อมด้วยสิ่งแปลกปลอมเคลื่อนเข้าสู่ลำคอ และถูกขับทิ้งโดยการกลืน หรือขับออกทางจมูก ไม่ให้สิ่งแปลกปลอมนี้ผ่านเข้าสู่ปอด เรียกกลไกการโบกพัดให้ชั้นเยื่อเมือกของขนนี้ว่า mucociliary escalator สิ่งแปลกปลอมที่เล็กกว่า 2 ไมครอน ถ้าสามารถเล็ดลอดจากการกรองและการดักจับลงไปถึงถุงลมปอดจะมีเซลล์เม็ดเลือดขาว ที่เรียกว่า alveolar macrophage ทำหน้าที่จับกินสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้

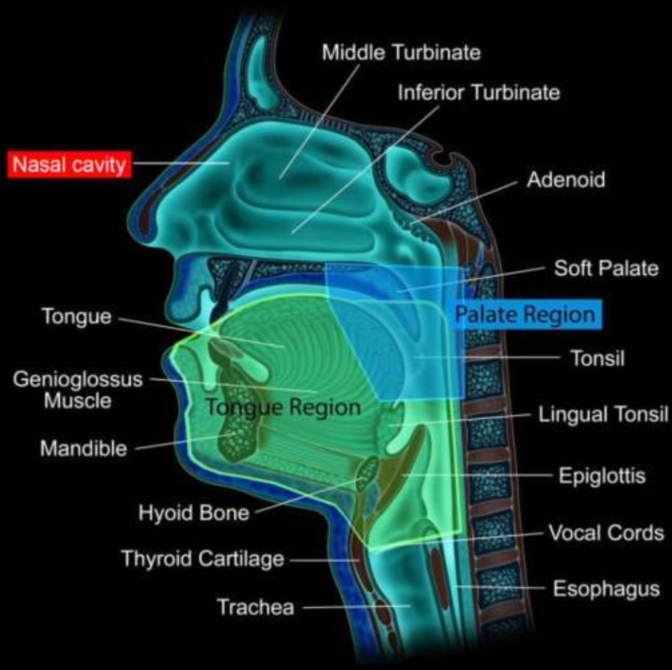
**2) ส่วนที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซ (Respiratory portion)** นับตั้งแต่ respiratory bronchiole, alveolar duct, alveolar sac และ alveoli โครงสร้างเหล่านี้จะมีผนังที่บางพอที่จะให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างอากาศถุงลมปอดกับอากาศในเลือดของหลอดเลือดฝอยที่แตกแขนงเป็นร่างแหห่อหุ้มอยู่ รายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป

## จมูก (Nose)

โดยปกติอากาศจะเข้าสู่ทางเดินหายใจทางรูจมูก (nostrils หรือ external nares) รูจมูกมี 2 รู แยกโดยกระดูกอ่อน เรียกว่า septal cartilage กระดูกอ่อนส่วนนี้เมื่อรวมกับส่วนของกระดูก vomer และ perpendicular plate ของกระดูก ethmoid จะกลายเป็นผนังกั้น เรียกว่า **nasal septum** ซึ่งจะแบ่งช่องจมูก (nasal cavity) ออกเป็น 2 ช่อง เนื้อบุผิวของช่องจมูก มี 2 ชนิด ได้แก่

**1. Respiratory mucosa** เป็นเนื้อเยื่อช่วยสร้างมูกเพื่อให้ผนังมีความชุ่มชื้น และมีขน (cilia) ทำหน้าที่ดักฝุ่นขนาดเล็กๆ

**2. Olfactory mucosa** เป็นเนื้อเยื่ออยู่บริเวณส่วนบนของช่องจมูก ประกอบด้วยปลายประสาทรับกลิ่น ซึ่งติดต่อกับประสาทสมองคู่ที่ 1 ชื่อ olfactory nerve สารที่มีกลิ่นจะถูกจับและละลาย จากนั้นจะไปกระตุ้นปลายประสาทและทำให้เกิดการรับกลิ่น




รูปที่ 7-3 แสดงกายวิภาคของ nasal cavity

**หน้าที่ของจมูก**

=> เป็นท่อทางเดินอากาศส่วนบนสุด

=> กรองฝุ่นละอองที่ผ่านเข้ามากับอากาศ

=> ทำให้อากาศมีความชื้นที่เหมาะสม

=> รับกลิ่น

=> เป็นทางผ่านของสารคัดหลั่งจากโพรงอากาศข้างจมูก และต่อมน้ำตา

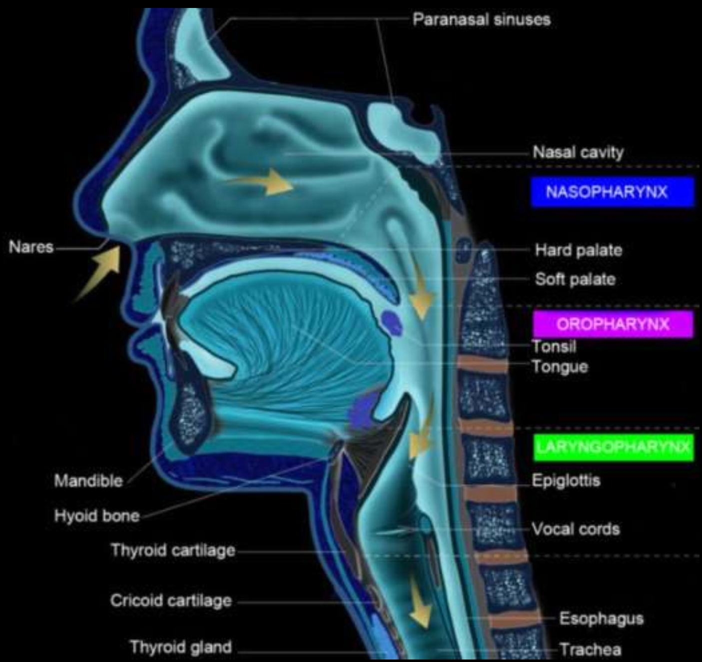
## คอหอย (Pharynx)

คอหอย มีลักษณะเป็นท่อต่อจากโพรงจมูก ยาวประมาณ 13 ซม. หรือ 5 นิ้ว เริ่มจากส่วนท้ายของช่องจมูกไปจนถึงกระดูกอ่อน cricoid cartilage ซึ่งอยู่ระดับกระดูกสันหลังส่วนคอท่อนที่ 6 (C6) หน้าที่ของคอหอย คือ เป็นทางผ่านของอาหารและอากาศ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

**1. Nasopharynx** เป็นส่วนที่อยู่เหนือเพดานอ่อน ส่วนนี้จะมีรูเปิดของท่อเรียก **Eustachian tube** (Auditory tube) มาเปิด เพื่อปรับความดันภายในหูชั้นกลาง ผนังด้านหลังของ nasopharynx จะมีต่อมน้ำเหลืองเรียกว่า **pharyngeal tonsil (adenoids)**

**2. Oropharynx** เป็นส่วนที่อยู่ด้านหลังของช่องปาก เริ่มจากเพดานอ่อนถึงฝาปิดกล่องเสียง เป็นผนังที่เป็นกล้ามเนื้อ ที่คอหอยส่วนนี้จะพบกลุ่มน้ำเหลืองที่เรียกว่า ต่อมทอนซิล (tonsil) 2 คู่ คือ **palatine tonsil** และ **lingual tonsil**

**3. Laryngopharynx** เป็นส่วนล่างสุดของคอหอย เริ่มตั้งแต่กระดูกอ่อน hyoid bone จนถึงหลอดอาหาร ตรงจุดนี้เป็นที่ซึ่งอากาศจะผ่านเข้ามาทางด้านหน้า คือเข้าสู่กล่องเสียง ส่วนอาหารจะผ่านไปทางด้านหลังเข้าสู่หลอดอาหาร โดยมีแผ่นฝาปิดกล่องเสียง (epiglottis) คอยปิดกล่องเสียงไว้ ไม่ให้อาหารตกลงไปในกล่องเสียง



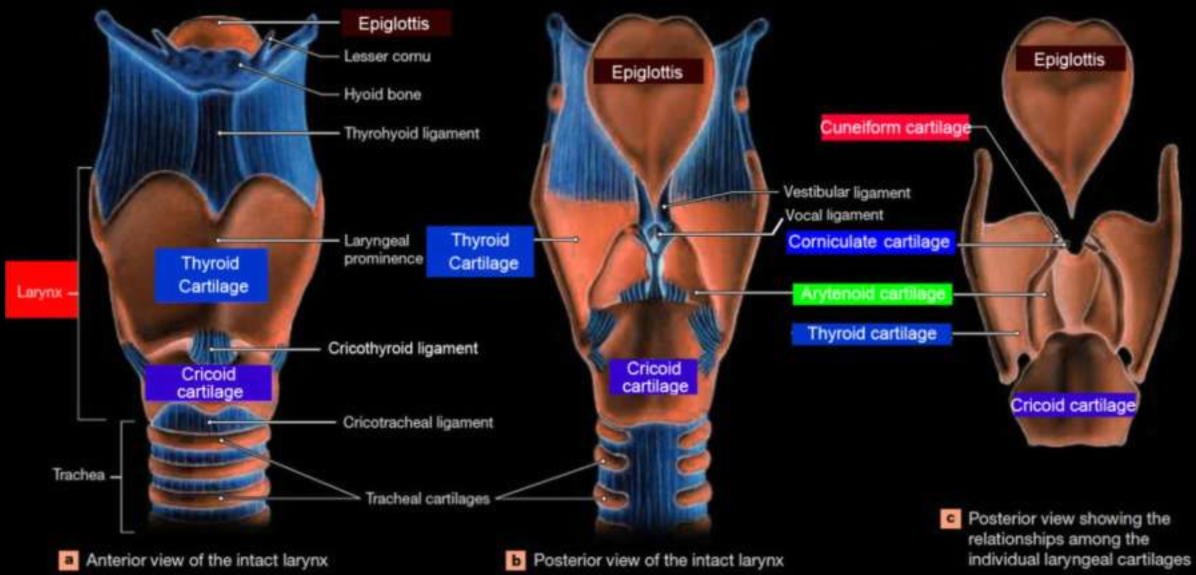

รูปที่ 7-4 แสดงส่วนต่าง ๆ ของ Pharynx

## กล่องเสียง (Larynx)

กล่องเสียง (Larynx) ประกอบด้วยกระดูกอ่อน ที่เห็นชัดเจนคือ คือ thyroid cartilage หรือ Adam's apple ซึ่งมองเห็นได้ชัดทางด้านหน้าของผู้ชาย เหนือต่อ thyroid cartilage จะเป็นกระดูก hyoid bone ใต้ต่อ thyroid cartilage จะเป็น cricoid cartilage ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวน ถัดลงมาจะเป็น trachea หรือ หลอดลม

นอกจากกล่องเสียงจะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศแล้ว ยังทำหน้าที่เปล่งเสียงด้วย

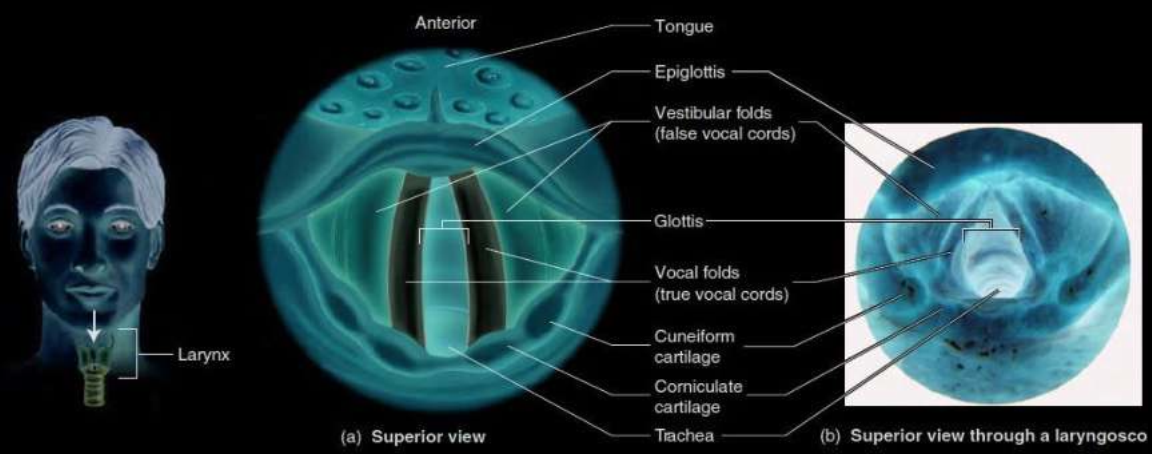
โครงสร้างของกล่องเสียง ประกอบด้วยกระดูกอ่อน 9 ชิ้น เป็นกระดูกอ่อนที่อยู่เป็นคู่ ๆ จำนวน 3 คู่ คือ Arytenoid cartilage, Cuneiform cartilage และ Corniculate cartilage ส่วนกระดูกอ่อนที่อยู่เดี่ยว ๆ อีก 3 ชิ้น คือ Thyroid cartilage, Cricoid cartilage และ Epiglottis




รูปที่ 7-5 แสดงโครงสร้างของกล่องเสียง

**โครงสร้างภายในของกล่องเสียง**

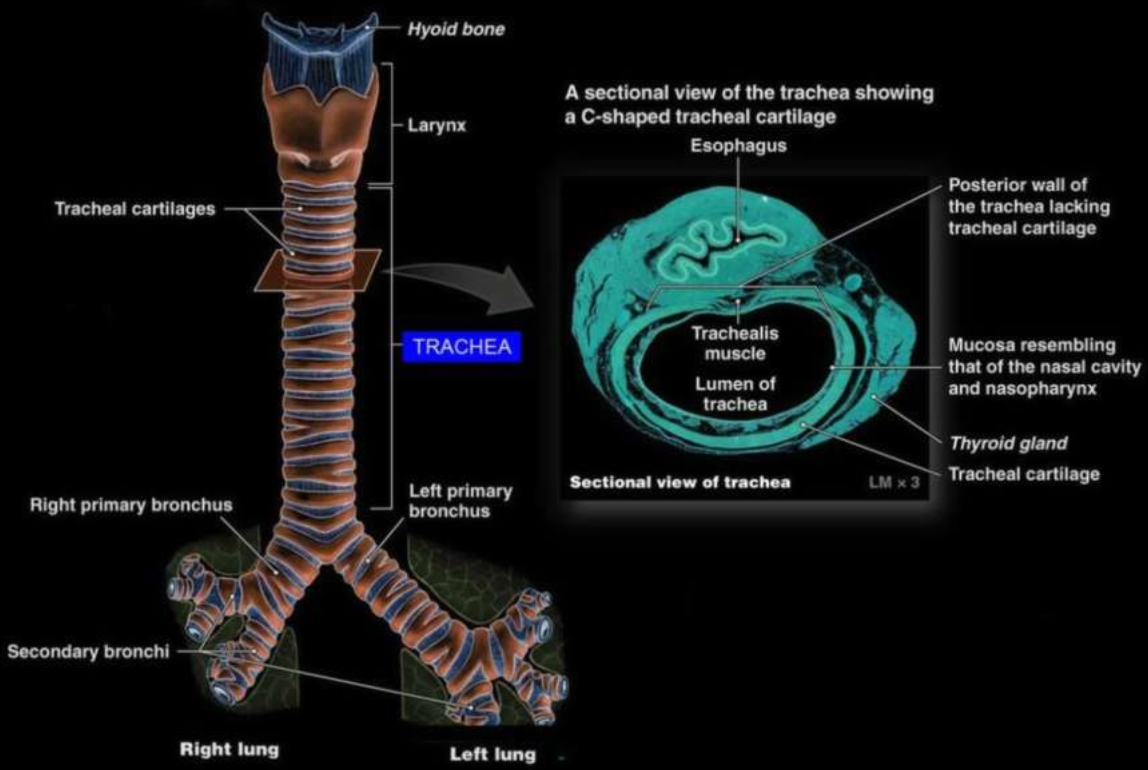
บริเวณส่วนบนจะมีแผ่นเยื่อบาง ๆ หรือสายเสียงขึงขวางอยู่ 2 คู่ คือ False vocal cords (Ventricular folds) และ True vocal cords (Vocal fold) ซึ่งอยู่ต่ำกว่า และมีช่องว่างตรงกลางเรียกว่า Rima glottidis เป็นช่องส่วนแคบที่สุดและอยู่ด้านหลังกระดูกอ่อน เมื่อ vocal fold ถูกดึงให้ตึง โดยการเคลื่อนไหวของกระดูกอ่อนจะทำให้เสียงแหลมสูง แต่ถ้า vocal fold หย่อนจะทำให้เสียงทุ้ม เช่น vocal fold ในผู้หญิงจะสั้น และตึงกว่าของผู้ชาย จึงทำให้ผู้หญิงมักมีเสียงแหลมสูง ในขณะที่ผู้ชายมีเสียงทุ้ม นอกจากนี้ Rima glottidis ยังมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามการหายใจ เช่น มีขนาดเล็กเมื่อหายใจปกติ และมีขนาดใหญ่เมื่อมีการหายใจอย่างแรง




รูปที่ 7-6 แสดงโครงสร้างของฝาปิดกล่องเสียง

## หลอดลม (Trachea)

หลอดลม เป็นท่อกลวงซึ่งเป็นทางผ่านของอากาศ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 ซม. ยาว 10-12 ซม. เริ่มจากส่วนปลายสุดของกล่องเสียง (ตรงบริเวณกระดูกสันหลังส่วนคอท่อนที่ 6, C6) ลงมาถึงจุดแยกเป็น bronchus ซ้ายขวา (ตรงบริเวณกระดูกสันหลังส่วนอกท่อนที่ 5, T5) หลอดลมประกอบไปด้วยกระดูกอ่อนมีรูปร่าง C shape เรียกว่า **tracheal cartilage** ประมาณ 16 - 20 วง เชื่อมต่อกันด้วย fibroelastic tissue และกล้ามเนื้อตามทางยาว กระดูกอ่อนรูปตัว C มีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้หลอดลมแฟบ เยื่อบุหลอดลมเป็นชนิด pseudostratified ciliated columnar epithelial ซึ่งจะเป็นเยื่อเมือกชั้นๆ มีซีเลียพัดขึ้นด้านบน




รูปที่ 7-7 แสดงหลอดลมใหญ่และแขนง

เมื่อหลอดลมทอดลงมาถึงทรวงอกระดับกระดูกสันหลัง ส่วนอกท่อนที่ 5 (T5) จะแยกเป็น bronchus ซ้ายขวา เรียกว่า **Left primary bronchus** และ **Right primary bronchus** ตามลำดับ แล้วมุดแทรกเข้าสู่เนื้อปอดทางขั้วปอด (Hilus) Right primary bronchus มีลักษณะสั้น และมีขนาดใหญ่กว่า มีความลาดเอียง (ชัน) มากกว่า Left primary bronchus ซึ่งเป็นเหตุผลที่จะอธิบายได้ว่า ทำไมเมื่อมีการสำลักสิ่งแปลกปลอมตกลงสู่ปอด มักจะตกลงไปสู่ปอดข้างขวามากกว่าข้างซ้าย โครงสร้างของ bronchus ยังเหมือนกับ Trachea คือ ประกอบด้วยกระดูกอ่อนรูปตัว C

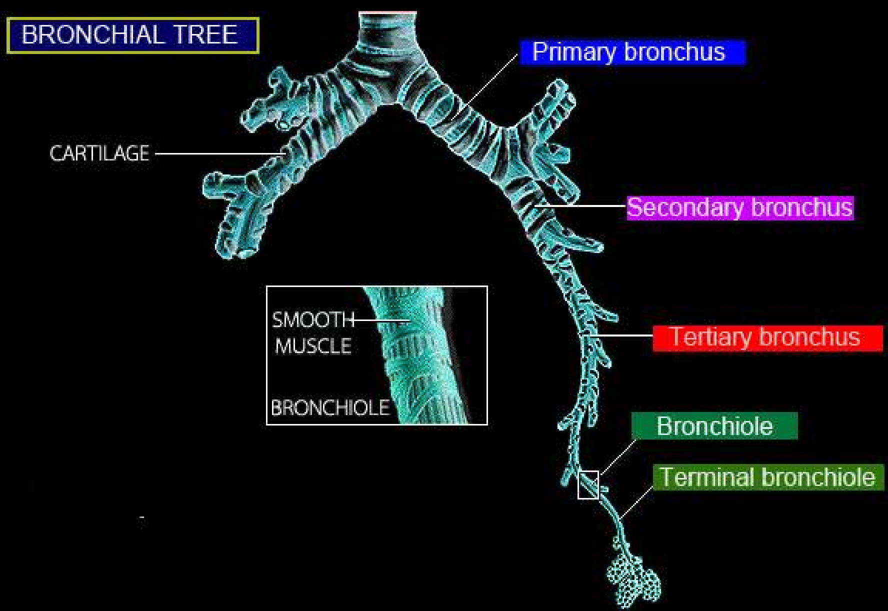
เมื่อ Primary bronchus เข้าสู่ปอดในแต่ละข้างแล้ว จะมีการแตกแขนงเล็กลงเป็นหลอดลมเล็กระดับที่สอง เรียกว่า **Secondary bronchus** (Lobar bronchus) แยกไปตามกลีบปอด (Lobe) ซึ่งข้างปอดขวามี 3 Lobe ก็จะมี Secondary bronchus 3 แขนง ส่วนปอดข้างซ้ายมี 2 Lobe ก็จะมี Secondary bronchus 2 แขนง จากนั้น Secondary bronchus แต่ละแขนงจะมีการแตกแขนงเล็กลงไปอีก เป็นหลอดลมเล็กระดับที่สาม เรียกว่า **Tertiary bronchus (Segmental bronchus)** แยกไปตาม segment ต่างๆ ของปอด จากนั้นจะแยกต่ออีกเป็นท่อเล็กๆ

เรียกว่า **bronchioles** และในที่สุดเป็น **terminal bronchioles** ซึ่งเป็นการแตกแขนงของหลอดลมเล็กระดับที่สิบหก terminal bronchiole แตกแขนงต่อไปและเล็กลงไปอีกเป็น respiratory bronchiole, alveolar duct, alveolar sac และ alveoli ตามลำดับ

จากลักษณะการแตกแขนงอย่างต่อเนื่องของหลอดลม มีลักษณะคล้ายการแตกแขนงของต้นไม้ คือมีการแตกแขนงย่อยออกไปเป็นกิ่งและก้าน ตามลำดับ เราจึงเรียกว่า Bronchial tree จากการที่ bronchus มีการแตกแขนงอย่างมากมายหลายระดับ ทำให้ลักษณะโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป 3 ประการ คือ

1. กระดูกอ่อนวงแหวนรูปตัว C จะมีขนาดเล็กลง และมีจำนวนลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่ bronchus แตกแขนงไปจนถึงระดับ bronchioles จะไม่พบกระดูกอ่อนวงแหวนรูปตัว C อีก
2. เซลล์เยื่อบุจะมีการเปลี่ยนจาก pseudostratified columnar epithelium ไปเป็น simple cuboidal ใน terminal bronchiole ซึ่งไม่มีขนและเมือกที่ใช้ดักจับฝุ่นละอองและสิ่งแปลกปลอมที่ติดมากับอากาศ ดังนั้น ถ้าหากมีเศษผงหรือสิ่งแปลกปลอมผ่านมาถึงบริเวณนี้ได้จะถูกกำจัดโดยการกินของเซลล์ macrophage
3. ในขณะที่กระดูกอ่อนวงแหวนลดจำนวนลง จะกลับมีกล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) เพิ่มขึ้นแทน กล้ามเนื้อเรียบที่พันรอบอยู่ที่ผนังของหลอดลมนี้เมื่อหดตัว จะบีบรัดทำให้รูของหลอดลมตีบแคบลง ซึ่งการหดตัว และการคลายตัว ของกล้ามเนื้อเรียบนี้ สามารถเกิดจากอิทธิพลของสารเคมี และเส้นประสาท เช่น

- Parasympathetic nerve จะเป็นเหตุให้ bronchioles ตีบ จากการที่กล้ามเนื้อเรียบหดตัว
- Histamine จะเป็นเหตุให้ bronchioles ตีบ จากการที่กล้ามเนื้อเรียบหดตัว
- Epinephrine จะทำให้ bronchioles ขยายตัว เนื่องจากไปมีผลทำให้กล้ามเนื้อเรียบคลายตัว



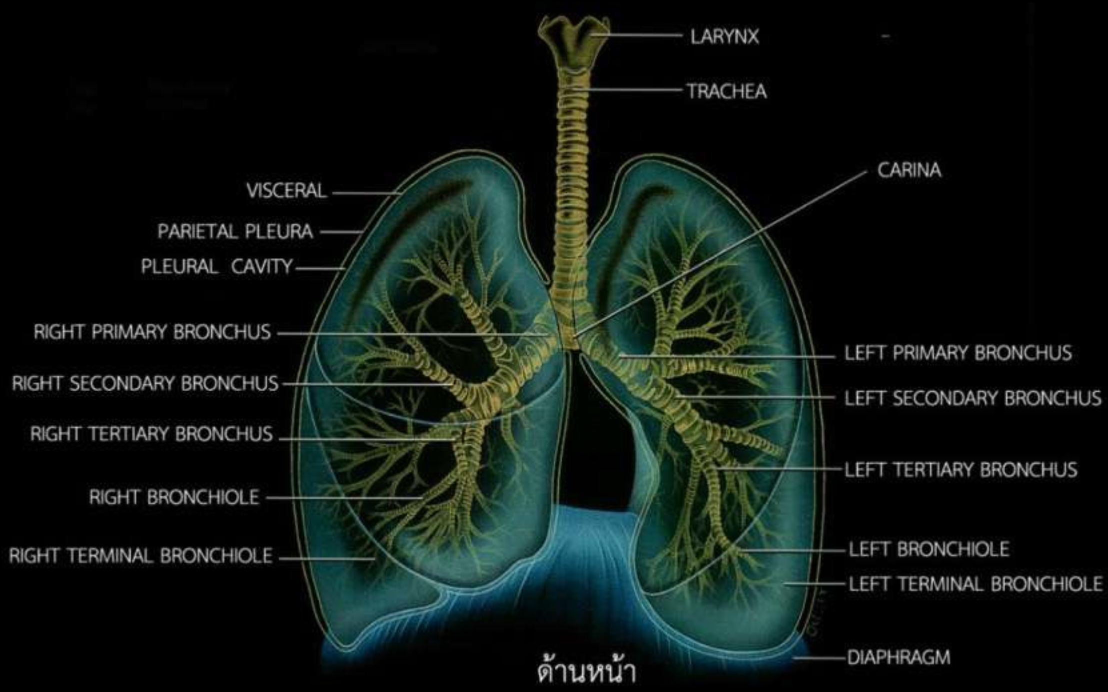

รูปที่ 7-8 แสดงการแตกแขนงของหลอดลม

จากการที่ bronchioles ไม่มีกระดูกอ่อนรูปตัว C แต่จะมีกล้ามเนื้อเรียบเพิ่มขึ้นมาแทน ในช่วงที่เกิดโรคหอบหืด กล้ามเนื้อเรียบที่ bronchioles จะหดเกร็ง และเมื่อไม่มีกระดูกอ่อนคอยพยุงค้ำไว้ การหดเกร็งที่เกิดขึ้นของกล้ามเนื้อเรียบสามารถบีบรัดทำให้รูของ bronchiole ตีบ ปิดกั้นทางผ่านของอากาศ ส่งผลให้อากาศเข้าถุงลมได้น้อยและหายใจมีเสียงดังในโรคหอบหืด

## ปอด (Lung)

ปอดบรรจุอยู่ในช่อง thoracic cavity ยกเว้นตางกลางที่เป็นเนื้อกลางอก เรียกว่า mediastinum ซึ่งเป็นที่อยู่ของหัวใจและหลอดเลือด ปอดมี 2 ข้าง (Right lung, Left lung) มีส่วนฐาน (Base) อยู่เหนือกล้ามเนื้อกระบังลม (Diaphragm) และจะมีส่วนยอด (Apex) ซึ่งมีลักษณะแคบ และเล็กกว่าอยู่ส่วนบนเหนือกระดูกไหปลาร้า ประมาณ 1.5-2.5 ซม. พื้นผิวภายนอกของปอด จะสัมผัสกับโครงสร้างอวัยวะ 3 ส่วน คือ

- Costal surface เป็นส่วนที่สัมผัสกับกระดูกซี่โครง
- Diaphragmatic surface เป็นส่วนพื้นผิวปอดที่สัมผัสกับกระบังลม
- Mediastinum surface เป็นส่วนพื้นผิวของปอดที่สัมผัสกับ mediastinum cavity ซึ่งบริเวณนี้จะมีส่วนซึ่งเป็นทางเข้าของหลอดลม (bronchus), หลอดเลือด (pulmonary blood vessel) และหลอดน้ำเหลือง (lymphatic vessel) เรียกว่า hilus (ขั้วปอด)




รูปที่ 7-9 แสดงกายวิภาคของปอด และหลอดลมระดับต่างๆ

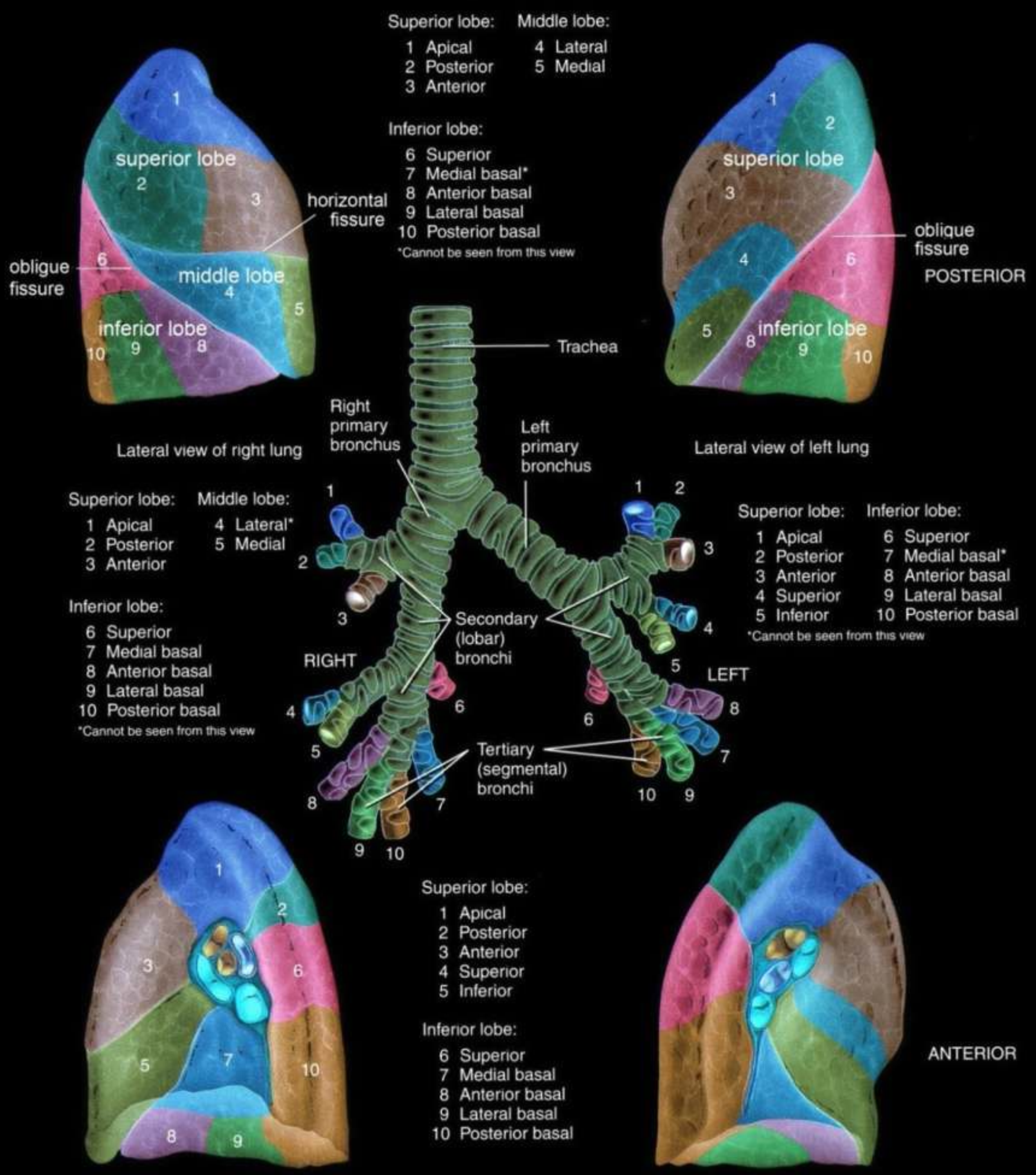
**ปอดขวา (Right Lung)** มี 3 กลีบ (lobe) ได้แก่ กลีบบน (superior lobe) กลีบกลาง (middle lobe) กลีบล่าง (inferior lobe)

**ปอดซ้าย (Left Lung)** มี 2 กลีบ (lobe) ได้แก่ กลีบบน (superior lobe) และกลีบล่าง (inferior lobe)

แต่ละกลีบจะได้รับหลอดลมเล็กระดับที่สอง (Secondary bronchus) เป็นของตัวเอง ดังนั้น Right primary bronchus จะแตกแขนงออกเป็นหลอดลมเล็กระดับที่สอง (Secondary bronchus) จำนวน 3 แขนง คือ Superior secondary bronchus, Middle secondary bronchus และ Inferior secondary bronchus, ส่วน Left primary bronchus จะแตกแขนงออกเป็นหลอดลมเล็กระดับที่สอง (Secondary bronchus) 2 แขนง คือ Superior secondary bronchus, Inferior secondary bronchus ในแต่ละกลีบปอด จะมีการแบ่งเป็นส่วนย่อยลงไปอีก เรียกว่า Segment หรือ Lobule ดังนี้

**ปอดขวา** กลีบบน (Superior lobe) แบ่งออกเป็น 3 Segment, กลีบกลาง (Middle lobe) แบ่งออกเป็น 2 Segment, กลีบล่าง (Inferior lobe) แบ่งออกเป็น 5 Segment

**ปอดซ้าย** กลีบบน (Superior lobe) แบ่งออกเป็น 5 Segment, กลีบล่าง (Inferior lobe) แบ่งออกเป็น 5 Segment

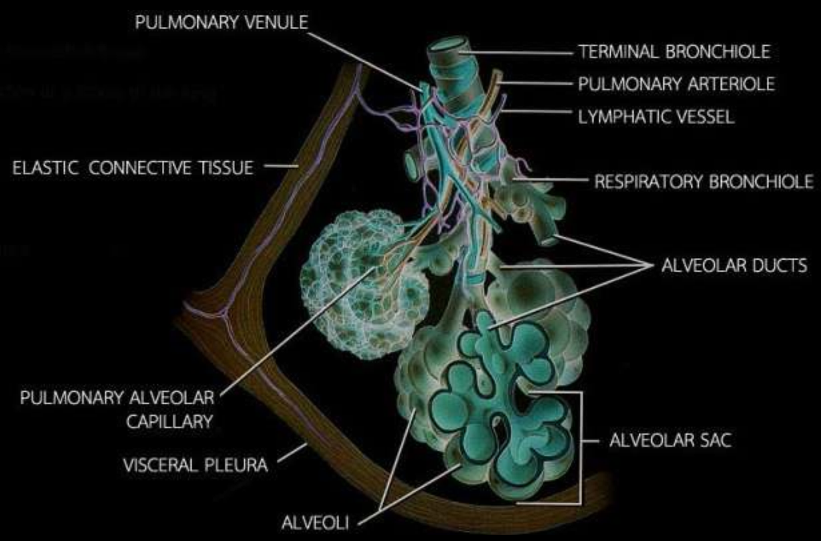



รูปที่ 7-10 แสดง Segment ของปอด

ดังนั้น ในปอดแต่ละข้างจะมี Segment รวมทั้งสิ้น 10 Segment เช่นเดียวกัน หลอดลมเล็กระดับที่สอง (Secondary bronchus) จึงมีการแตกแขนงไปเป็นหลอดลมเล็กระดับที่สาม (Tertiary bronchus) จำนวน 10 แขนงด้วย หรืออาจเรียกทั้งรวมกันว่า Bronchopulmonary segment ซึ่งในแต่ละ Bronchopulmonary segment จะประกอบไปด้วยหน่วยย่อย ๆ จำนวนมาก เรียกว่า Lobule

แต่ละ Lobule ประกอบด้วย Respiratory bronchiole, Arteriole, Venule และ Lymphatic vessel ด้วยเหตุนี้ เมื่อมีโรคเกิดขึ้นในแต่ละ segment เช่น มะเร็งหรือฝีในปอด แพทย์จึงสามารถที่จะตัดลอกเอา segment ที่เกิดโรคออกได้ โดยไม่กระทบกระเทือนต่อปอดที่เหลืออยู่

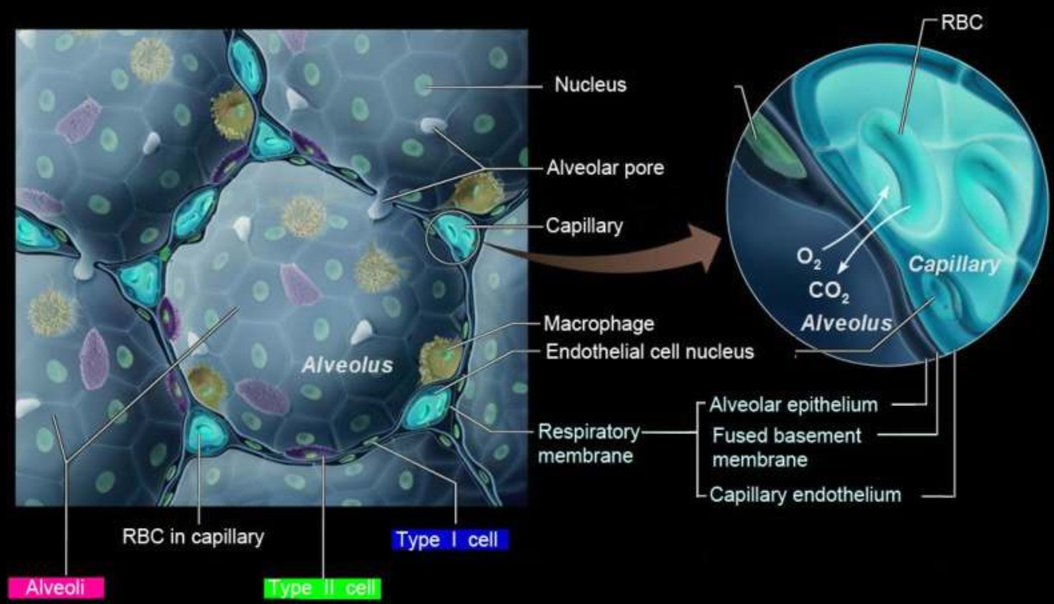
ในแต่ละหลอดลมเล็กระดับที่สาม (Tertiary bronchus หรือ Segmental bronchus) ยังจะมีการแตกแขนงต่อไปเป็น Bronchiole (หลอดลมฝอย), Terminal bronchiole (หลอดลมฝอยส่วนปลาย), Respiration bronchiole (หลอดลมฝอยหายใจ) ซึ่งเป็นส่วนเริ่มต้นที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซตามลำดับ ซึ่งในส่วนของ Respiration bronchiole (หลอดลมฝอยหายใจ) นี้จะมี Alveolar ducts, Alveolar sac และ Alveoli มาเกาะติดอยู่




รูปที่ 7-11 แสดงโครงสร้าง Lobule ของปอด

## ถุงลมปอด (Alveoli)

ในปอดทั้ง 2 ข้างจะมีถุงลมปอด (Alveoli) ประมาณ 300 - 350 ล้านถุง แต่ละถุงจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 200 ไมครอน มีพื้นที่ผิวรวมกันทั้งหมดประมาณ 70 - 90 ตร.ม. หรือประมาณเท่าสนามเทนนิส 1 สนาม

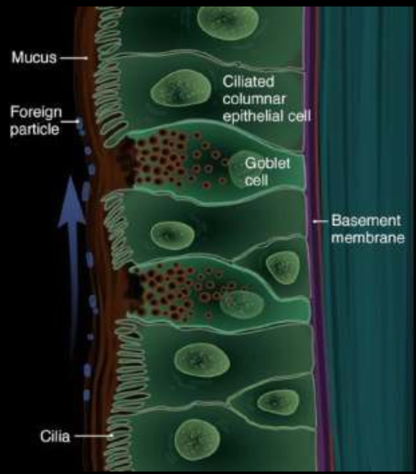



รูปที่ 7-12 แสดงโครงสร้างถุงลม

**โครงสร้างของผนังถุงลม** ประกอบด้วยเซลล์เยื่อบุชั้นเดียว ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. **Type I alveolar cells** เป็นเซลล์ส่วนใหญ่ของผนังถุงลม มีลักษณะแบนและบางมาก
2. **Type II alveolar cells (Surfactance secreting cell)** เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้าง และหลั่ง **สารลดแรงตึงผิว (surfactant)** ซึ่งช่วยทำให้ถุงลมไม่ตีบแฟบ

นอกจากนี้ ที่ผิวของเยื่อบุถุงลมยังมีเซลล์แมกโครเฟจ (macrophage หรือ alveolar macrophage) เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่กำจัดสิ่งแปลกปลอมเล็ก ๆ ที่หลุดเข้าสู่ถุงลมโดยการกินเซลล์ที่ตายแล้วจะถูกขับออกจากถุงลมปอดโดยเข้าสู่น้ำเหลือง หรือโดยกลไกการโบกพัดชั้นเยื่อเมือกของซีเลีย (mucociliary escalator) ในคนที่สูบบุหรี่พบว่าเซลล์แมกโครเฟจ จะสูญเสียความสามารถในการกำจัดสิ่งแปลกปลอม



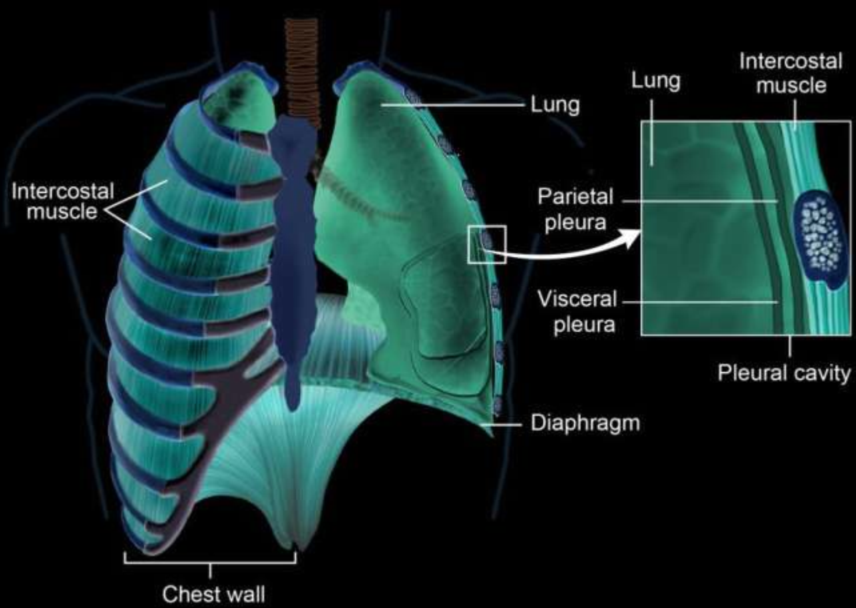

รูปที่ 7-13 แสดงกลไกการโบกพัดชั้นเยื่อเมือกของ cilia

## เยื่อหุ้มปอด (Pleura)

ปอดจะมีเยื่อหุ้ม เรียกว่า **Pleura** มี 2 ชั้น ได้แก่

1) **Parietal pleura** เป็นเยื่อหุ้มด้านนอกอยู่ติดกับผนังทรวงอก

2) **Visceral pleura** เป็นเยื่อหุ้มปอดอยู่ด้านในติดกับเนื้อปอด




รูปที่ 7-14 แสดงโครงสร้างเยื่อหุ้มปอดชั้น Parietal pleura และ Visceral pleura

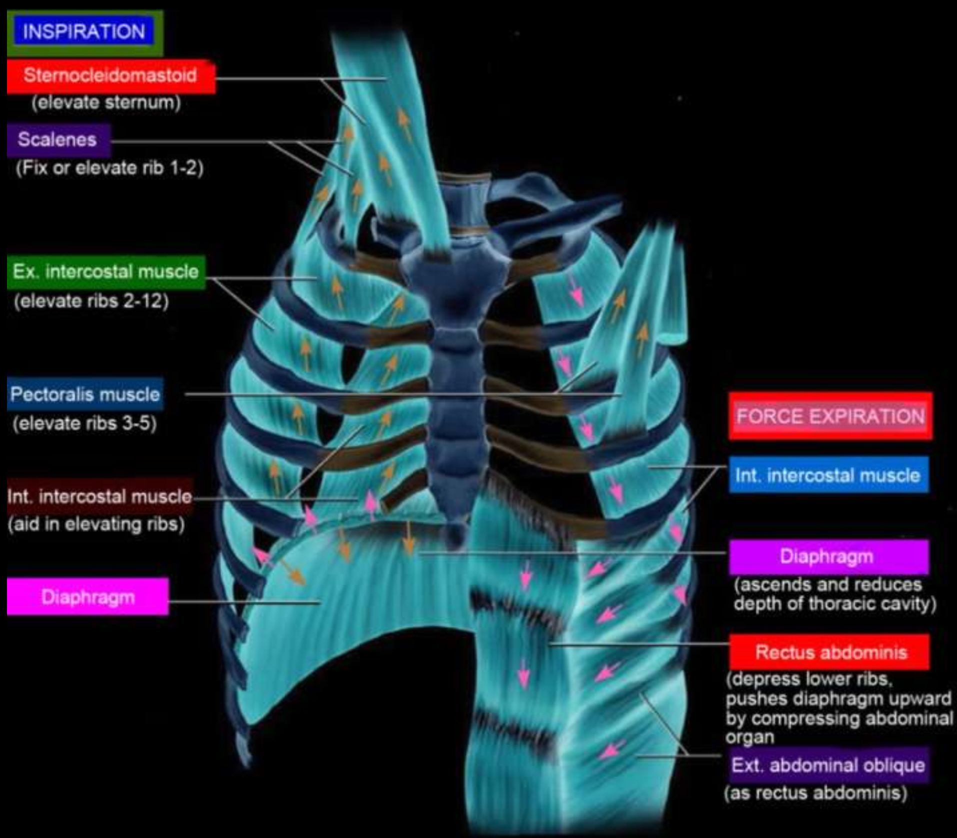
ระหว่างเยื่อหุ้มปอดทั้ง 2 ชั้น จะมีช่องว่างอยู่ เรียกว่า **pleural cavity** หรือ intrapleural space ซึ่งแท้จริงแล้วไม่ได้เป็นช่องว่างจริงๆ แต่อย่างใด มีเพียงของเหลวบางๆ จำนวนประมาณ 3-5 มล. แทรกตัวอยู่เพื่อทำหน้าที่หล่อลื่นลดการเสียดสี ถ้าหากมีความผิดปกติ เช่น มีน้ำอยู่ใน pleural cavity มากผิดปกติ เรียกว่า pleural effusion หรือถ้ามีเลือดอยู่ภายใน เรียกว่า hemothorax หรือถ้ามีลมเข้าไปอยู่ เรียกว่า pneumothorax ซึ่งสาเหตุเหล่านี้จะทำให้ปอดไม่สามารถขยายตัวได้เต็มที่ในระหว่างหายใจเข้า ทำให้เกิดอาการเหนื่อย

## กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจ

การหายใจ ประกอบด้วยการหายใจเข้าและหายใจออก โดยที่การขยายตัวและการหดตัวของปอดเกิดจากการเคลื่อนไหวของทรวงอกซึ่งเป็นผลจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้หายใจ เพราะปอดไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ด้วยตัวมันเอง กล้ามเนื้อที่ใช้หายใจแบ่งได้เป็น 2 พวก คือ กล้ามเนื้อหายใจเข้า และ กล้ามเนื้อหายใจออก

**1. กล้ามเนื้อหายใจเข้า** การหายใจเข้าเป็นการทำงานที่ต้องใช้พลังงาน กล่าวคือ มีการหดตัวของกระบังลม (Diaphragm) และ กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงชั้นนอก (External intercostal) เพื่อให้ปริมาตรของช่องอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันภายในปอดลดลง ประมาณ 4 มม.ปรอท อากาศจากภายนอกร่างกายจึงไหลเข้าสู่ปอด ในกลุ่มนี้ประกอบด้วย กระบังลม (Diaphragm) กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงชั้นนอก (External intercostal) กล้ามเนื้อเสริม

**1.1 กระบังลม (Diaphragm)** เป็นกล้ามเนื้อลายที่มีโครงสร้างคล้ายรูปโดม ทำหน้าที่เป็นผนังกั้นแบ่งระหว่างช่องอกกับช่องท้อง ประมาณ 75% ของอากาศที่หายใจเข้าเกิดจากการหดตัวของกระบังลม เมื่อกระบังลมหดตัวจะเคลื่อนตัวลงต่ำสู่ช่องท้องทำให้เพิ่มขนาดของทรวงอกทางแนวตั้ง




รูปที่ 7-15 แสดงกล้ามเนื้อหายใจเข้า และกล้ามเนื้อหายใจออก

**1.2 กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงชั้นนอก (External intercostal)** เป็นกล้ามเนื้อลายที่อยู่ระหว่างซี่โครงด้านนอก เส้นใยกล้ามเนื้อวางตัวในแนวเฉียงลงมาทางด้านหน้า โดยมีจุดเกาะต้น (origin) อยู่ที่ขอบล่างของกระดูกซี่โครงชิ้นบน แล้วทอดตัวเฉียงลงมาทางด้านหน้ามาเกาะกับจุดเกาะปลาย (insertion) ที่ขอบบนของกระดูกซี่โครงชิ้นล่างที่อยู่ถัดลงไป เวลากล้ามเนื้อหดตัวกระดูกซี่โครงจะถูกยกขึ้นพร้อมกับกางออกไป ทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางของทรวงอกขยายออกทางขวางและด้านหน้าและด้านหลัง ปริมาตรทรวงอกจึงเพิ่มขึ้น ในการหายใจเข้าธรรมดา 25% ของอากาศที่เข้าปอดเกิดจากกล้ามเนื้อกลุ่มนี้

**1.3 กล้ามเนื้อเสริม** ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Sternocleidomastoid และ Scalene กล้ามเนื้อกลุ่มนี้จะเริ่มทำงาน เมื่อร่างกายต้องการมีการหายใจเพิ่มมากกว่าปกติ เช่น ในขณะออกกำลังกายหรือเกิดพยาธิสภาพ

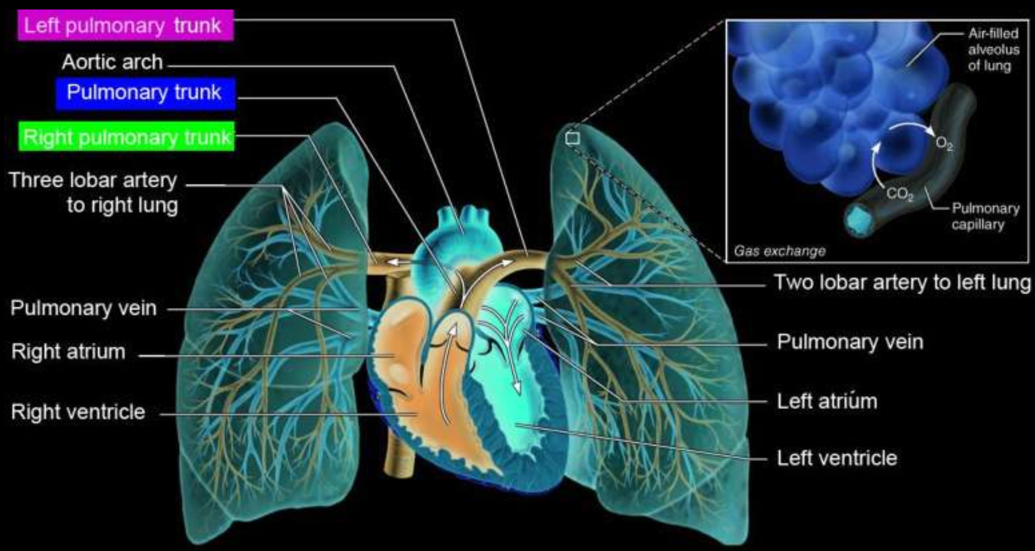
**2. กล้ามเนื้อหายใจออก** โดยปกติการหายใจออก จะเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นโดยไม่ต้องใช้พลังงาน (Passive process) ซึ่งเกิดจากการคลายตัวของกล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงชั้นนอกกับกระบังลม ทำให้ทรวงอกเล็กลงและอาศัยคุณสมบัติยืดหยุ่น (Elastic recoil) ของปอด ทำให้ความดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อากาศจึงไหลออกจากปอด

ถ้าหายใจออกแรงๆ ต้องใช้กล้ามเนื้ออื่นช่วย กลุ่มกล้ามเนื้อหายใจออก จะเริ่มทำหน้าที่เมื่อมีการหายใจเพิ่มมากกว่าปกติ คือ มีการระบายอากาศเพิ่มมากกว่า 40 ลิตรต่อนาที เช่น ในขณะออกกำลังกายหรือเกิดการอุดตันของทางเดินหายใจ ประกอบด้วย Internal intercostal muscle และ กล้ามเนื้อผนังหน้าท้อง ได้แก่ Internal และ External oblique abdominis, Rectus abdominis, Transverse abdominis

การหดตัวของกล้ามเนื้อเหล่านี้ ทำให้ความดันภายในช่องท้องเพิ่มขึ้น อวัยวะในช่องท้องจึงถูกดันขึ้น กระบังลมสูงขึ้น ปริมาตรช่องอกจึงลดลงตามไปด้วย

## การไหลเวียนเลือดในปอด

เลือดดำจะผ่านออกจากหัวใจห้องล่างขวา ทางหลอดเลือด Pulmonary trunk ซึ่งจะแบ่งออกเป็น Pulmonary artery จำนวน 2 เส้น ไปปอดข้างซ้ายและปอดข้างขวา และจะมีการแตกแขนงเล็กลงจนกลายเป็นหลอดเลือดฝอย พันอยู่รอบๆ ถุงลม




รูปที่ 7-16 แสดงการไหลเวียนเลือดในปอด

เมื่อเลือดดำ (Deoxygenated) รับออกซิเจนจากอากาศในถุงลมแล้วจะกลับกลายเป็นเลือดแดง (Oxygenated) กลับสู่หัวใจห้องบนซ้าย (Left atrium) ทาง Pulmonary vein 4 เส้น

## ตอนที่ 2
## กลไกการหายใจ (Mechanism of Breathing)

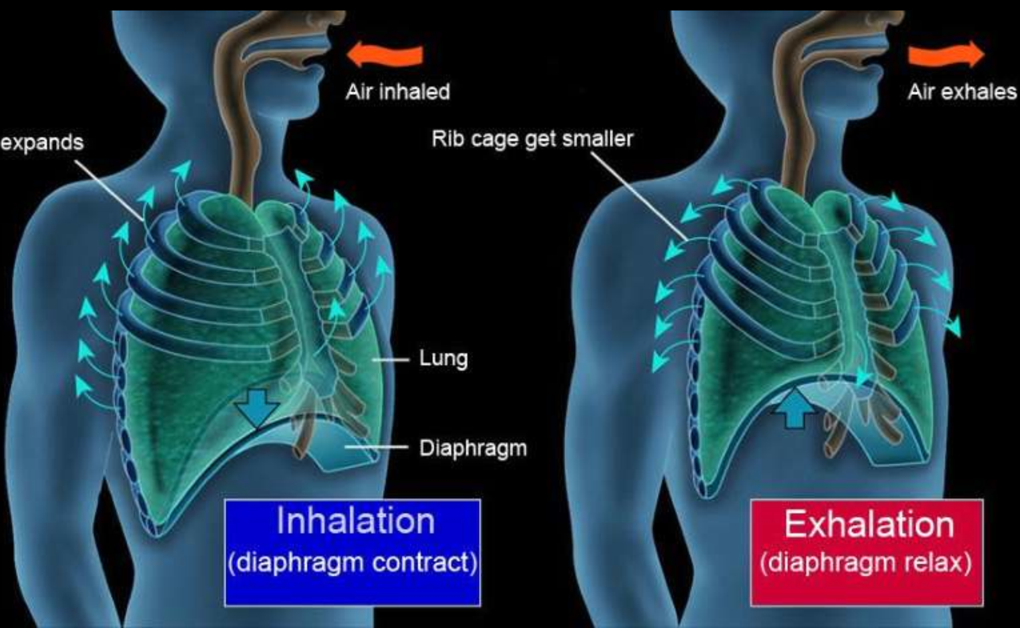
### การหายใจเข้า-ออกปกติ

การหายใจเข้าออกปกติ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การหายใจเข้า (Inspiration หรือ Breathing in) และ การหายใจออก (Expiration หรือ Breathing out) ซึ่งการที่อากาศจะเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากปอดได้ จะต้องมีความแตกต่างของความดันบรรยากาศ ระหว่างอากาศในบรรยากาศ กับ อากาศในถุงลมปอด

ความดันอากาศในบรรยากาศ หรือความดันบรรยากาศมีค่า 760 มม.ปรอท ส่วนอากาศในถุงลม ซึ่งมีทางติดต่อกับภายนอกได้ ก็มีค่าความดันบรรยากาศมีค่า 760 มม.ปรอท เช่นเดียวกัน ในขณะที่ไม่มีการหายใจ อากาศจึงไม่มีการไหลเข้าปอด และเมื่อใดก็ตามที่ความดันในถุงลมปอดถูกทำให้ลดต่ำลง หรือสูงขึ้นกว่าความดันบรรยากาศ จากที่ที่มีความดันสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำกว่า จะทำให้มีการไหลของอากาศเข้าและออกจากปอด เกิดเป็นการหายใจเข้าและออก

กลไกการหายใจเป็นกลไกที่ต้องใช้พลังงาน (active process) อธิบายง่ายๆ ดังนี้ เมื่อกระแสสัญญาณประสาทจากศูนย์การหายใจเข้า (dorsal Respiration Group, DRG) ซึ่งอยู่ในเมดัลลา ส่งสัญญาณประสาทไปยังกระบังลม (diaphragm) ทำให้กระบังลมหดตัวโดยส่วนยอดโดมจะแบนราบลง เป็นการเพิ่มปริมาตรทรวงอกทางแนวตั้ง และในขณะเดียวกัน ขอบล่างทั้ง 2 ข้างของแผ่นกระบังลมจะช่วยยกกระดูกซี่โครงซี่ล่างๆ ที่ยึดติดอยู่ให้สูงขึ้นและกางออก นอกจากนี้ยังมีการหดตัวของกล้ามเนื้อระหว่างช่องซี่โครงด้านนอก (external intercostal muscle) ทำให้กระดูกซี่โครงชิ้นบนๆ ถูกยกสูงขึ้นและกางออก เป็นการช่วยเพิ่มปริมาตรช่องอกให้มากขึ้น

เมื่อช่องทรวงอกอกเพิ่มปริมาตรมากขึ้น เนื้อปอดซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี และแนบติดอยู่กับโครงส่วนอก จะถูกดึงให้มีการขยายตามไปด้วย ความดันอากาศในถุงลมปอดหรือในปอด (alveolar pressure หรือ intrapulmonary pressure) จะลดต่ำกว่าบรรยากาศภายนอก ซึ่งมีค่า 760 มม.ปรอท (ในการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการหายใจ นิยมกำหนดค่าเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ โดยให้ความดันบรรยากาศเป็น 0 ซม.น้ำ




รูปที่ 7-17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของผนังทรวงอก ในการหายใจเข้า และหายใจออก

ขณะหายใจปกติ เมื่อปอดขยายความดันภายในปอดจะลดลงจาก 0 เป็นประมาณ -1 ซม.น้ำ เมื่อเทียบกับความดันบรรยากาศ ทำให้มีการไหลของอากาศตามความลาดความดันเข้ามาในปอด เกิดเป็นการหายใจเข้า จนกระทั่งความดันในถุงลมปอดสูงขึ้นเท่ากับความดันบรรยากาศอีกครั้ง อากาศจึงหยุดไหล เป็นการสิ้นสุดการหายใจเข้า

ส่วนการหายใจออก เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้พลังงาน (Passive process) เกิดขึ้นเมื่อมีการคลายตัวของกล้ามเนื้อหายใจเข้าทั้ง 2 ชุด คือ กระบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างช่องซี่โครงด้านนอก โดยเมื่อกระบังลมคลายตัว ก็จะถูกอวัยวะในช่องท้องหนุนให้เคลื่อนกลับขึ้นด้านบนมีลักษณะเป็นรูปโดมเหมือนเดิม ส่วนกล้ามเนื้อระหว่างช่องซี่โครงด้านนอกเมื่อคลายตัว กระดูกซี่โครงจะหุบลง ทั้ง 2 ประการนี้ทำให้โครงทรวงอกมีปริมาตรลดลง ปอดซึ่งแนบติดกับโครงทรวงอกก็จะหดกลับ (elastic recoil) ทำให้ความดันในถุงลมเพิ่มสูงขึ้นกว่าความดันบรรยากาศ อากาศในถุงลมจึงไหลออกสู่ภายนอก เกิดเป็นการหายใจออก จนกระทั่งความดันภายในถุงลมเท่ากับบรรยากาศภายนอกอีกครั้ง อากาศจึงหยุดไหล เป็นการสิ้นสุดการหายใจออก

## การหายใจออกแบบใช้พลังงาน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การหายใจออกปกติเป็นกลไกที่ไม่ต้องใช้พลังงาน อาศัยเพียงการคลายตัว และการหดตัวเข้าที่เดิมของเนื้อปอดและโครงทรวงอก แต่ในการหายใจออกแรงๆ อย่างในผู้ที่กำลังออกกำลังกาย หรือในผู้ป่วยโรคถุงลมโป่งพอง จำเป็นต้องอาศัยกล้ามเนื้อช่วยหายใจออก เช่น กล้ามเนื้อระหว่างช่องซี่โครงด้านใน(internal intercostal muscle) ช่วย โดยเมื่อกล้ามเนื้อหน้าท้องหดตัว จะกดลงบนอวัยวะในช่องท้อง และบีบให้อวัยวะในช่องท้องไปดันกระบังลมให้เคลื่อนขึ้นมาทางด้านบน เป็นการลดปริมาตรในช่องทรวงอก ส่วนกล้ามเนื้อระหว่างช่องซี่โครงด้านใน เมื่อหดตัวจะดึงกระดูกซี่โครงเข้าหากัน ทำให้โครงทรวงอกหุบตัวลดปริมาตรลง ทั้ง 2 วิธีนี้ เป็นการดันอากาศออกจากปอดได้ง่ายขึ้น

ในระหว่างการหายใจเข้าลึกและแรง จะมีกล้ามเนื้ออีกหลายชนิด เช่น กล้ามเนื้อคอ และอก (กล้ามเนื้อ scalene, sternocleidomastoid) ทำหน้าที่ช่วยในการหายใจเข้า เรียกกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ว่า accessory muscle of inspiration

## การเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาตรปอดขณะหายใจ

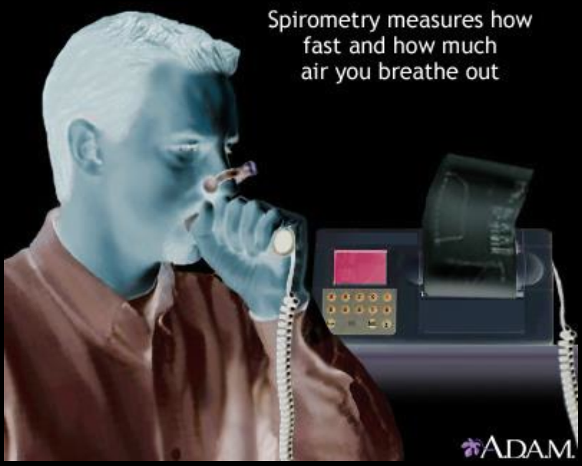
**1. Intrapleural pressure** คือ ความดันภายในช่องเยื่อหุ้มปอด (Pleural cavity) ซึ่งปอดปกติมีความโน้มเอียงที่จะหดกลับ และแยกตัวออกจากทรวงอกเนื่องจากมีความยืดหยุ่น (elasticity) ทำให้ความดันในช่องเยื่อหุ้มปอดมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Negative pressure) และจะเปลี่ยนแปลงตามการหายใจ คือ เมื่อสิ้นสุดการหายใจออกจะมีค่า ประมาณ -4 มม.ปรอท เวลาหายใจเข้าจะมีค่าเป็นลบมากขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหายใจเข้าจะมีค่าเป็นลบประมาณ -7 มม.ปรอท

**2. Intrapulmonary (Intra-alveolar) pressure** คือ ความดันภายในทางเดินอากาศและภายในถุงลมจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามการหายใจ คือ เมื่อสิ้นสุดการหายใจเข้า หรือหายใจออกจะมีค่าเท่ากับบรรยากาศ (760 มม.ปรอท) คิดเป็น 0 มม.ปรอท เมื่อหายใจเข้าจะมีค่า -1 มม.ปรอท และเมื่อหายใจออกจะมีค่า +1 มม.ปรอท

สำหรับค่าที่เรียกว่า Transpulmonary pressure เป็นค่าทางคณิตศาสตร์โดยคำนวณจากการนำค่า Intrapulmonary pressure ลบด้วยค่า Intrapleural pressure เมื่อสิ้นสุดการหายใจเข้าจะมีค่าประมาณ +7 มม.ปรอท และสิ้นสุดการหายใจออกจะมีค่า +4 ซึ่งค่ายิ่งมากแสดงถึงการที่ปอดขยายตัวมาก

## ปริมาตรอากาศจากการหายใจและความจุของปอด (Lung Volumes and Capacity)

เราสามารถวัดปริมาตรของอากาศที่เกี่ยวข้องในการหายใจเข้าออก โดยใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า Spirometer




รูปที่ 7-18 แสดงการวัดปริมาตรของอากาศ โดยใช้เครื่องมือ Spirometer

**1. ปริมาตรอากาศจากการหายใจลักษณะต่างๆ** เมื่อหายใจเข้าออกปกติและหายใจเข้าออกเต็มที่ โดยใช้เครื่อง spirometer แต่ละปริมาตรจะมีชื่อเรียก ความหมาย และค่าปกติ ดังนี้

**1.1 ปริมาตรหายใจปกติ (Tidal volume, TV)** คือ ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าหรือออกจากปอด ในการหายใจปกติ 1 ครั้ง ค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 500 มล.

**1.2 ปริมาตรหายใจเข้าสำรอง (Inspiratory reserve volume, IRV)** คือ ปริมาตรอากาศที่เกินจากปริมาตรหายใจเข้าปกติ ในการหายใจเข้าเต็มที่ 1 ครั้ง ค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 3,000 มล.

**1.3 ปริมาตรหายใจเข้าสำรอง (Expiratory reserve volume, ERV)** คือ ปริมาตรอากาศที่เกินจากปริมาตรหายใจออกปกติ ในการหายใจเข้าเต็มที่ 1 ครั้ง ค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 1,100 มล.

**1.4 ปริมาตรตกค้าง (Residual volume, RV)** คือ ปริมาตรของอากาศที่ยังเหลือค้างอยู่ในปอดหลังจากการหายใจออกอย่างแรงเต็มที่แล้ว ค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 1,200 มล.

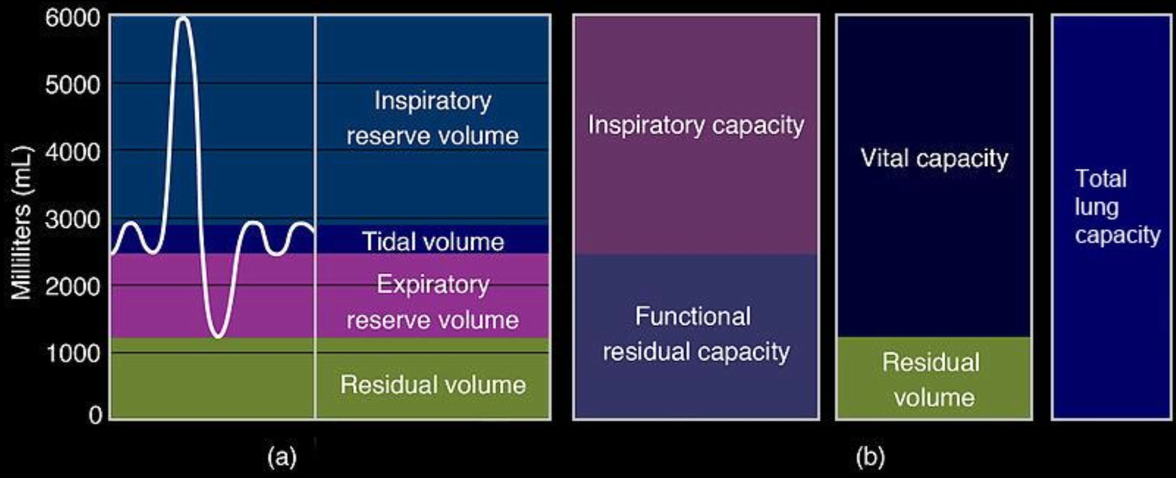
**2. ความจุปอด (Lung capacity)** ประกอบด้วย

**2.1 ความจุหายใจเข้า (Inspiratory capacity, IC)** คือ ปริมาตรอากาศจากการหายใจเข้าลึกที่สุดหลังจากการหายใจออกปกติ มีค่าเท่ากับผลรวมของ TV และ IRV ปกติมีค่าประมาณ 3,800 มล.

**2.2 ความจุปกติ (Vital capacity, VC)** คือ ปริมาตรอากาศจากการหายใจเข้าลึกที่สุด หลังจากการหายใจออกเต็มที่ หรือปริมาตรหายใจออกเต็มที่หลังจากหายใจเข้าลึกที่สุดแล้ว 1 ครั้ง มีค่าเท่ากับผลรวมของ TV, IRV และ ERV ปกติมีค่าประมาณ 4,800 มล.

**2.3 ความจุปอดตกค้าง (Functional residual capacity, FRC)** คือปริมาตรอากาศที่เหลืออยู่ในปอดหลังจากหายใจออกปกติ มีค่าเท่ากับผลรวมของ ERV กับ RV ปกติมีค่าประมาณ 2,500 มล.

**2.4 ความจุปอดรวม (Total lung capacity, TLC)** คือ ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ปอดจุได้ เป็นผลรวมของ VC กับ RV ปกติมีค่าประมาณ 6,000 มล.




รูปที่ 7-19 แสดงปริมาตรของปอด (Lung volume) และความจุของปอด (Lung Capacity)

ผู้ใหญ่ปกติมีอัตราการหายใจ (respiratory rate, RR) เท่ากับ 12-15 ครั้ง/นาที ผลคูณของ RR กับ TV คือ ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าหรือออกจากปอดในเวลา 1 นาที เรียกว่า **Respiratory minute volume** หรือ minute ventilation ($V_E$) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 500 X 12 = 6,000 มล./นาที (เมื่อ TV = 500 มล. และ RR = 12 ครั้ง/นาที)

อากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้ง ส่วนหนึ่งประมาณ 150 มล. จะอยู่ในส่วนของท่อทางเดินอากาศ ที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนแก๊ส เรียกว่า **anatomical dead space** ดังนั้น อากาศใหม่ที่จะผ่านไปถึงถุงลมปอด และสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ ใน 1 นาที จะมีปริมาตรเพียง (500-150) X 12 หรือประมาณ 4,200 มล./นาทีเท่านั้น ค่านี้ เรียกว่า **alveolar ventilation ($V_A$)**

## ความสามารถในการขยายปริมาตรของปอด (Lung compliance)

หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรต่อ 1 หน่วยความดันที่เปลี่ยน มีหน่วยเป็นลิตรต่อเซนติเมตรน้ำ ดังสมการ

$$C = \triangle V/\triangle P$$

| เมื่อ | C | คือ ความยืดหยุ่นของปอด มีหน่วยเป็น มล./ซม.น้ำ |
|---|---|---|
| | $\triangle V$ | คือ ปริมาตรของปอดที่เปลี่ยนแปลงไป มล. |
| | $\triangle P$ | คือ ผลต่างของความดันที่ผนังด้านในและด้านนอกของปอด ซม.น้ำ |

ค่าความยืดหยุ่นนี้ แสดงถึงความยากง่ายในการขยายปอดขณะหายใจเข้า ปอดที่มีความยืดหยุ่นสูง ย่อมสามารถขยายปริมาตรได้มากกว่าเมื่อใช้ความดันเท่ากัน หรือใช้แรงดันน้อยกว่าในการที่จะขยายปริมาตรให้ได้เท่ากัน

**ปัจจัยที่มีผลต่อ Lung compliance**

1. เนื้อเยื่อปอดเอง หากเนื้อปอดยืดหยุ่นดีจะขยายตัวได้ดี หากปอดแข็งจะขยายตัวไม่ดี ค่าของ lung compliance จะลดลงในโรคปอดบางชนิด ที่ elastic tissue ถูกแทนที่โดย collagen fiber และ fibrous tissue เช่น pulmonary edema (น้ำท่วมปอด) และ atelectasis (ปอดแฟบ) ค่าของ lung compliance จะสูงในผู้ป่วยที่มีการทำลายของ elastic tissue เช่น pulmonary emphysema (ถุงลมโป่งพอง)

2. แรงตึงผิวที่ถุงลมปอด (Surface tension)

## แรงตึงผิวที่ถุงลมปอด และ สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

แรงตึงผิว (surface tension) หมายถึง แรงที่เกิดจากการดึงดูดระหว่างโมเลกุลของ ๆ เหลว ที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศ โดยของเหลวจะพยายามหดตัวเข้าหากันเพื่อลดพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศให้เหลือน้อยที่สุด ในกรณีของฟองอากาศในของเหลว ผิวสัมผัสระหว่างอากาศและของเหลวเป็นทรงกลม แรงตึงผิวของของเหลวซึ่งพยายามลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฟองอากาศ จะทำให้ฟองอากาศเพิ่มขึ้น ยิ่งฟองอากาศมีขนาดเล็กความดันที่เกิดจากแรงตึงผิวจะยิ่งสูงขึ้น ต้องอาศัยแรงดันที่มากในการที่จะทำให้มันขยายปริมาตรได้ และในกรณีที่ฟองอากาศ 2 ฟองติดต่อถึงกัน ฟองอากาศที่มีขนาดเล็กกว่าจะแฟบอย่างรวดเร็ว โดยอากาศจะถูกดันเข้าไปในฟองอากาศขนาดใหญ่

ถุงลมปอดมีลักษณะเป็นทรงกลมเล็กๆ มีทางติดต่อเชื่อมถึงกัน ที่ผิวด้านในมีของเหลวฉาบอยู่ ของเหลวที่ฉาบที่ผิวถุงลมจะหดรัดตัวเข้าหากันเกิดเป็นความดัน เนื่องจากแรงตึงผิว ในทิศทางที่พยายามจะลดขนาดหรือปริมาตรของถุงลมลง ทำให้ในการหายใจเข้าต้องใช้ความดันส่วนหนึ่งมาหักล้างกับความดันอันเนื่องจากแรงตึงผิวนี้ก่อน จึงจะสามารถขยายปอดได้

ในความเป็นจริง ถุงลมปอดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ต่างก็ลดปริมาตรได้อย่างสม่ำเสมอขณะหายใจออก โดยไม่มีการหดแฟบของถุงลมเล็กเข้าไปในถุงลมใหญ่ เนื่องจากของเหลวที่เคลือบปอดมีส่วนผสมของสารไขมัน ชนิดหนึ่งคือ dipalmitoyl lecithin ซึ่งสามารถลดแรงตึงผิวของถุงลมปอดได้ เรียกสารนี้ว่า สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. ช่วยลดแรงตึงผิว ของของเหลวในถุงลม เป็นการลดงานหรือลดความดันที่ต้องใช้ในการขยายถุงลมปอดเวลาหายใจเข้า
2. คุณสมบัติในการลดแรงตึงผิว จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดพื้นที่ผิวของถุงลม โดยพบว่าสารลดแรงตึงผิวจะลดแรงตึงผิวได้มากกว่าในขณะที่ถุงลมกำลังหดตัว นั่นคือแรงตึงผิวที่ผนังของถุงลมไม่คงที่
3. ช่วยลดการแทรกซึมของของเหลวที่จะเข้ามาในหลอดลม

สารลดแรงตึงผิว สร้างจากเซลล์ชื่อ **Type II alvelolar epithelial cell** เมื่อเด็กมีอายุครรภ์ได้ 30 สัปดาห์ ดังนั้น หากทารกคลอดก่อนกำหนด มักจะพบปัญหาในการหายใจ ทำให้หายใจลำบากเนื่องจากขาดสารลดแรงตึงผิว เรียกกลุ่มอาการโรคนี้ว่า **Infant Respiratory Distress Syndrome (IRDS)**

## ความต้านทานต่อการไหลของอากาศ (Resistance to air flow)

ในการหายใจเข้า นอกจากร่างกายจะต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งในการทำให้เกิดการขยายปริมาตรของทรวงอกและปอด ร่างกายต้องใช้พลังงานอีกส่วนหนึ่งเพื่อเอาชนะความต้านทานต่อการไหลของอากาศเข้าสู่ปอดด้วย ประกอบด้วย

1. **การเสียดสี** ระหว่างโมเลกุลของอากาศด้วยกันเอง ซึ่งในภาวะปกติมีค่าเพียงเล็กน้อย
2. **ขนาดของท่อทางเดินอากาศ** โดยความต้านทานของท่อทางเดินอากาศจะเป็นปฏิภาคผกผันกับรัศมียกกำลังสี่ ซึ่งเมื่อทางเดินอากาศเล็กลงครึ่งหนึ่งจะทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นถึง 16 เท่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดของท่อทางเดินอากาศ เช่น

=> **Parasympathetic nerve** ที่ไปเลี้ยงหลอดลมจะหลั่ง Acetylcholine ออกมาเมื่อมีการกระตุ้นส่งผลให้หลอดลมหดตัว

=> **Sympathetic nerve** ที่ไปเลี้ยงหลอดลมจะมีน้อย แต่เมื่อร่างกายต้องการอากาศเพิ่มขึ้น เช่น ขณะออกกำลังกาย ประสาทซิมพาเทติกที่ไปเลี้ยงต่อมหมวกไตชั้นในจะกระตุ้นให้หลั่ง Epinephrine และ

Norepinephrine เข้าสู่กระแสเลือดไปกระตุ้น β-Adrenergic receptor ที่บริเวณหลอดลมส่งผลให้หลอดลมขยายตัว

=> **Histamine** ซึ่งหลั่งจากเซลล์ ชื่อ Mast cells ที่อยู่ในชั้นใต้กล้ามเนื้อเรียบของหลอดลม เมื่อเกิดปฏิกิริยาภูมิแพ้ เช่น โรคหอบหืด ทำให้หลอดลมตีบตัว หายใจลำบาก

**3. ความยาวของท่อทางเดินอากาศ** ซึ่งความต้านทานการไหลของอากาศจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของท่อทางเดินอากาศ หากความยาวเพิ่มขึ้นความต้านทานจะเพิ่มขึ้นด้วย

## งานของการหายใจ (Work of Breathing)

งานของการหายใจงานของการหายใจ หรือพลังงานที่ใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อเพื่อการหายใจเข้าและหายใจออก จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ

1. ความต้านทานต่อการไหลของอากาศ (Resistance to air flow) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด และความยาวของท่อทางเดินอากาศเป็นหลัก
2. ความสามารถในการขยายปริมาตรของปอด (Lung compliance) ซึ่งขึ้นอยู่กับเนื้อเยื่อปอดเอง และแรงตึงผิวของเหลว (Surface tension) ที่ฉาบอยู่ในถุงลม
3. ความยืดหยุ่นของปอดในการหดตัวกลับ (Lung elastance หรือ elastic recoil) ถ้า Elastic tissue ของเนื้อปอดลดจำนวน หรือเสื่อมสมรรถภาพ elastic recoil force ของปอดก็จะลดลงทำให้การหายใจออกต้องอาศัยกล้ามเนื้อ Internal intercostal และกล้ามเนื้อผนังหน้าท้องเพิ่มมากขึ้น

## การทดสอบการทำงานของระบบหายใจ (Lung function test)

=> Maximum voluntary ventilation : MVV เป็นการวัดปริมาตรหายใจสูงสุดต่อนาที โดยการหายใจให้ลึกที่สุดเร็วที่สุดเป็นเวลา 12 วินาที แล้วมาคำนวณปริมาตรอากาศเป็น ลิตร/นาที ค่าปกติอยู่ระหว่าง 120-200 ลิตร/นาที เพื่อดูสมรรถภาพของกล้ามเนื้อช่วยหายใจ และความต้านทานของท่อทางเดินหายใจว่าอยู่ในระดับปกติหรือไม่

=> Forced expiratory volume : FEV เป็นการวัดปริมาตรหายใจออกเต็มที่ในช่วงเวลาที่กำหนด โดยหายใจเข้าลึกที่สุด (VC) แล้วหายใจออกให้แรงที่สุดและเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ผ่านเครื่องมือชื่อ Spirometer แล้ววัดปริมาตรอากาศและเวลาหายใจออกไว้ หากปริมาตรอากาศน้อยกว่ามาตรฐานหรือใช้เวลามากกว่ามาตรฐานแสดงว่าความต้านทานของทางเดินอากาศขณะหายใจออกมีมาก ซึ่งในคนปกติร้อยละ 68.4 ของอากาศ VC จะต้องถูกหายใจออกมาภายใน 0.5 วินาทีแรก และร้อยละ 84 ภายใน 1 วินาที เรียกเป็นค่า **FEV1** ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้มากที่สุด

=> Peak expiratory flow rate : PEFR เป็นการวัดอัตราการหายใจออกสูงสุด โดยการหายใจออกอย่างเต็มที่ผ่าน Spirometer หากอัตราการไหลของอากาศจากการหายใจออกต่ำกว่าค่าปกติ แสดงว่ามีการเพิ่มของความต้านทานของทางเดินอากาศต่อการหายใจออก หรือมีการลด Elastic recoil ของปอด ซึ่งในคนปกติมีค่าประมาณ 350-500 ลิตร/นาที

************************************

# ตอนที่ 3
# การไหลเวียนเลือด และอากาศที่ปอด
# (Pulmonary circulation and Ventilation)

การแลกเปลี่ยนแก๊สที่ปอดจะมีประสิทธิภาพต่อเมื่ออัตราการนำอากาศเข้าปอดและออกจากปอดต่อนาที หรืออัตราการระบายอากาศของปอด (pulmonary ventilation) จะต้องเหมาะสมกับอัตราการนำเลือดเข้ามาสู่ปอด (pulmonary blood flow หรือ lung perfusion) เลือดที่มายังถุงลมปอดจะต้องเพพียงพอที่จะรับออกซิเจนไปจากถุงลม และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ออกสู่ถุงลม ได้ในปริมาณที่ร่างกายต้องการในขณะนั้นๆ ในบทเรียนนี้จะได้กล่าวถึงระบบไหลเวียนเลือดและอากาศที่มายังปอด และกลไกการทำงานของร่างกายในอันที่จะทำให้การทำงานของทั้ง 2 ส่วนมีความสมดุลกัน

## การไหลเวียนเลือดที่ระบบหายใจ

เลือดที่มายังระบบหายใจ มี 2 ส่วน คือ

**1. เลือดที่ไปยังหลอดลม** มีประมาณ 2% ของเลือดที่ออกจากหัวใจซีกซ้ายที่นำเลือดออกไปเลี้ยงทั่วร่างกาย โดยแยกเป็น bronchial artery มาหล่อเลี้ยงท่อทางเดินหายใจ จากนั้นรวมกันเป็น bronchial vein นำเลือดดำกลับเข้าสู่หัวใจตามปกติ

**2. เลือดที่ไปยังปอด** เลือดดำที่ออกจากหัวใจห้องล่างขวา ผ่านมาตาม pulmonary artery หลังจากมีการแตกแขนงตามลำดับจนมาถึงถุงลมปอด จะมีลักษณะเหมือนร่างตาข่ายโอบล้อมถุงลมไว้ pulmonary artery นี้จะนำเลือดซึ่งมี Po2 ต่ำ และมี Pco2 สูงมา ทำการแลกเปลี่ยนแก๊สที่ปอด เลือดที่ผ่านออกจากเส้นเลือดฝอยของปอด (pulmonary capillary) จึงเป็นเลือดดี มี Po2 สูง ประมาณ 100 มม.ปรอท และมี Pco2 ต่ำ ประมาณ 40 มม.ปรอท เลือดที่ดีเหล่านี้จะเข้าสู่หลอดเลือด pulmonary venule และ pulmonary vein ตามลำดับ กลีบเข้าสู่หัวใจห้องบนซ้าย ตามลำดับ

**3. อัตราการไหลของเลือดที่ไปยังปอด** เนื่องจากอัตราการไหลของเลือดที่ไปยังปอด (pulmonary blood flow) มีค่าใกล้เคียงกับเลือดที่ออกจากหัวใจไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย (cardiac output) คือ ประ มาณ 5 ลิตร/นาที ในขณะพัก ระบบไหลเวียนเลือดที่ปอดจะบรรจุไว้ได้ ประมาณ 500 มล. ในจำนวนนี้ประมาณ 70 มล.จะอยู่ในส่วนหลอดเลือดฝอยของปอด ซึ่งโดยความจริงแล้วถ้าหลอดเลือดฝอยของปอดเปิดหมดทุกเส้น แล้ว จะมีความจุของเลือดได้ถึง 200 มล. ในขณะออกกำลังกาย cardiac output จะมากขึ้น เลือดที่ไปปอดต่อนาทีและเลือดที่อยู่ในหลอดเลือดฝอยของปอดก็จะเพิ่มสูงขึ้น โดยการเปิดหลอดเลือดฝอยให้มากขึ้น ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนแก๊สได้ตามความต้องการของร่างกาย

## ความต้านทานของระบบไหลเวียนเลือดที่ปอด

โครงสร้างของหลอดเลือดในระบบ pulmonary circulation จะแตกต่างจากหลอดเลือดในระบบไหลเวียน systemic circulation กล่าวคือ ผนังหลอดเลือดจะบางกว่า เส้นผ่าศูนย์กลางภายในใหญ่กว่า และมีกล้ามเนื้อเรียบน้อยกว่า โครงสร้างเหล่านี้ ทำให้ความต้านทานต่อการไหลของเลือดในระบบไหลเวียนเลือดปอดมีค่าต่ำ ประมาณ 10-15% ของความต้านทานในระบบไหลเวียนเลือดของร่างกาย และทำให้สามารถยืดขยายและหดตัว ได้มากกว่าหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย อย่างไรก็ดีคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้หลอดเลือดและความต้านทานในระบบ

ไหลเวียนเลือดในปอด ถูกกระทบโดยปัจจัยต่างๆ เช่น ความดันในหลอดเลือด ความดันในถุงลม ความดันในเยื่อหุ้มปอด แรงดึงดูดของโลก และการเปลี่ยนท่าทางของร่างกาย

## การกระจายเลือดไปยังส่วนต่างๆ ของปอด

อัตราการไหลของเลือดไปยังส่วนต่างๆ มีค่าไม่เท่ากัน โดยเลือดที่ไปยังฐานของปอด จะมากกว่าที่ไปยังส่วนยอดของปอด และความแตกต่างนี้จะหายไปเมื่อนอนราบลง หรือเมื่อให้นอนตะแคงด้านใดด้านหนึ่ง เลือดจะไปเลี้ยงด้านนั้นมากกว่า จึงสันนิษฐานได้ว่า การกระจายของเลือดที่ไม่เท่ากันนี้เป็นผลมาจากแรงดึงดูดของโลก

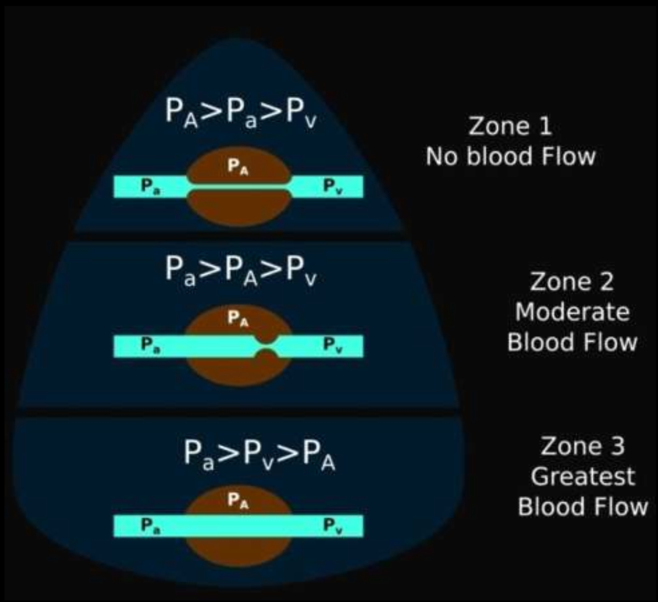
การที่เลือดจะไหลผ่านหลอดเลือดฝอยของปอดไปได้หรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ประการ คือ ความดันเลือดแดง (pulmonary artery pressure: $P_a$) ความดันเลือดดำ (pulmonary vein pressure: $P_v$) และความดันอากาศในถุงลม (alveolar pressure: $P_A$) ซึ่งอยู่รอบๆ หลอดเลือดฝอย เราอาจแบ่งปอดออกเป็น 3 บริเวณ ตามอัตราการไหลของเลือดที่ไปเลี้ยงปอด โดยขึ้นกับที่เกี่ยวข้อง 3 ประการ ดังนี้

Zone 1: $P_A > P_a > P_V$ ความดันในถุงลมมากกว่าความดันในหลอดเลือดแดง และมากกว่าความดันในหลอด เลือดดำทำให้หลอดเลือดฝอยของปอดถูกปิด พบอยู่ที่ส่วนบนๆ ของปอด

Zone 2: $P_a > P_A > P_V$ ความดันในหลอดเลือดแดงสูงกว่าความดันอากาศในถุงลม เลือดจึงสามารถไหลผ่านหลอดเลือดแดง

Zone 3: $P_a > P_V > P_A$ ทั้งความดันในหลอดเลือดแดงและความดันในหลอดเลือดดำจะสูงกว่าความดันในถุงลมปอด ทำให้หลอดเลือดแดงเปิดอยู่เสมอและเปิดตลอดความยาวของหลอดเลือดฝอย เลือดไหลผ่านอย่างต่อเนื่อง พบที่ฐานของปอด

ในภาวะปกติขณะพักจึงพบว่าเลือดจะไปถึงปอดส่วนบนเฉพาะในช่วงหัวใจบีบตัวเท่านั้น การที่ปอดได้รับเลือดเป็นช่วงๆ ทำให้อัตราการไหลของเลือดไปยังปอดโดยรวมทั้งหมด มีลักษณะขึ้นลงเป็นช่วงๆ




รูปที่ 7-20 การแบ่งปอดออกเป็น 3 ส่วน ตามอัตราการไหลของเลือดที่แตกต่างไปตามผลลัพธ์ของความดันที่เกี่ยวข้อง

## การระบายอากาศที่ปอด (Pulmonary ventilation and alveolar ventilation)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ปริมาตรอากาศในการหายใจเข้า-ออกจากร่างกาย ใน 1 นาที (minute ventilation หรือ pulmonary ventilation) จะประกอบไปด้วยอากาศที่อยู่ในระบบท่อทางเดินอากาศ (conducting zone) ซึ่งจะไม่มีการแลกเปลี่ยนแก๊ส (anatomic dead space) และอากาศอีกส่วนที่เข้าไปถึงถุงลมปอด (respiratory division) ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนแก๊สกับเลือดในระบบหลอดเลือดฝอยของปอดได้ โดยเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$V_E = V_D + V_A$$

เมื่อ $V_E$ = ปริมาตรของอากาศที่เข้าออกต่อนาที (pulmonary ventilation)
$V_D$ = ปริมาตรอากาศที่ค้างอยู่ในระบบท่อทางเดินอากาศต่อนาที (dead space ventilation)
$V_A$ = ปริมาตรอากาศส่วนที่เข้าไปถึงถุงลมปอดต่อนาที (alveolar ventilation)

ในผู้ใหญ่ปกติ ซึ่งมีปริมาตรการหายใจต่อครั้งมีค่า 0.5 ลิตร (500 มล.) และปริมาตรทางเดินอากาศมีค่า 0.15 ลิตร (150 มล.) เมื่อหายใจด้วยอัตรา 12 ครั้ง/นาที สามารถคำนวณค่า pulmonary ventilation และ alveolar ventilation ได้ ดังนี้

pulmonary ventilation = 0.5 ลิตร X 12 ครั้ง/นาที
= 6 ลิตร/นาที
alveolar ventilation = (0.5=0.15) ลิตร X 12 ครั้ง/นาที
= 4.2 ลิตร/นาที

## สัดส่วนการระบายอากาศและเลือดที่ปอด (Ventilation/Perfusion Ratio : V/Q)

การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างถุงลมปอดกับเลือดจะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถรักษาระดับความดันย่อยของแก๊สในร่างกายให้อยู่ในระดับปกติได้นั้น ถุงลมปอดจะต้องมีอากาศและเลือดเข้ามาถึงอย่างเพียงพอและเหมาะสม โดยปกติแล้วอัตราการนำอากาศเข้าออกจากถุงลมต่อนาที (alveolar ventilation: $V_A$) = จะมีค่าประมาณ 4 ลิตร/นาที และอัตราการไหลของเลือดมายังปอด (perfusion: Q) จะมีค่าประมาณ = 5 ลิตร/นาที ดังนั้น สัดส่วนการระบายอากาศและเลือดที่ปอด (ventilation/perfusion: V/Q) จะมีค่าเท่ากับ 4/5 = 0.8

โดยทั่วไปค่าปอดที่ปกติจะมีค่าระหว่าง 0.8 – 1.0 ถ้าค่ามากกว่า 1.0 จะถือว่ามีภาวะ V/Q mismatch ในลักษณะของ dead space effect และถ้าค่าน้อยกว่า 0.8 จะถือว่ามีภาวะ V/Q mismatch ในลักษณะของ shunt effect

- **Dead space effect** ได้แก่ ภาวะที่ ventilation (V) ปกติ แต่ Perfusion (Q) = 0 เช่น บริเวณช่องทางเดินหายใจส่วนบนจนกระทั่งถึงส่วนของ terminal bronchiole บริเวณที่มีอากาศผ่านเข้าออกแต่ไม่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซซึ่งโดยทั่วไปเราเรียกส่วนนี้ว่าเป็น anatomical dead space ส่วนของถุงลมปอดบางส่วนที่ในบางสภาวะไม่มีเลือดไหลใน Pulmonary capillary ซึ่งมีผลทำให้อากาศในถุงลมไม่มีขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซ ส่วนนี้เรียกว่า alveolar dead space ถ้ารวมทั้งสองส่วนนี้เรียกว่า Physiological dead space (Q=0) การระบายอากาศของถุงลมปอดไม่สัมพันธ์กับเลือดที่ไหลผ่าน ค่า V/Q มากกว่า 1.0 เช่น

=> Perfusion ลดลง - ร่างกายพร่องสารน้ำ ภาวะเสียเลือด
=> Ventilation เพิ่มขึ้น - การหายใจเร็ว และหายใจลึก การช่วยหายใจด้วยแรงดันบวกสูง ๆ

**- Shunt effect** ได้แก่ภาวะที่ Ventilation = 0 แต่ Perfusion (Q) ปกติ เช่น เลือดในหลอดเลือดดำ Bronchial จะไหลกลับสู่หัวใจด้านซ้ายโดยไม่ผ่านการแลกเปลี่ยนก๊าซเลย (anatomic shunt) หรือในบางส่วนของปอดที่มีการตีบแฟบของถุงลมปอด แต่ยังมีเลือดไหลผ่าน pulmonary capillary ทั้งสองส่วนนี้เรียกรวมกันว่า Physiologic shunt หรือภาวะโรคหัวใจแต่กำเนิดบางชนิดที่มีรูรั่วระหว่างผนังห้องหัวใจขวาและซ้าย ภาวะที่การระบายอากาศของถุงลมปอดไม่สัมพันธ์กับเลือดที่ไหลผ่านค่า V/Q น้อยกว่า 0.8 เช่น

=> Perfusion เพิ่มขึ้น - ภาวะน้ำในร่างกายเกินกว่าปกติ ภาวะหัวใจวาย (left side heart failure)

=> Ventilation ลดลง - การหายใจลดลงจากยากดการทำงานของระบบประสาท ภาวะจมน้ำภาวะมีน้ำ หรือของเหลวขังในถุงลม

***********************************

# ตอนที่ 4
# การแลกเปลี่ยนและการขนส่งแก๊ส
# (Gas exchange and Gas transport)

## กฎของแก๊ส (Gas Laws)

พฤติกรรมของแก๊สในการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างปอดกับเลือดและเลือดกับเซลล์ จะเป็นไปตามกฎต่างๆ ดังนี้

**1. Avogadro's hypothesis** ภายใต้อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน แก๊สที่มีจำนวนโมเลกุลเท่ากันจะมีความดันเท่ากัน ดังนั้น ความดันและอัตราการแพร่ของแก๊สจะมากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลของแก๊สนั้นๆ เมื่ออุณหภูมิและปริมาตรคงที่

**2. Dalton's law** ค่าความดันย่อย (Pressure gradient) ของแก๊สแต่ละชนิดในแก๊สผสม จะไม่ขึ้นอยู่กับความดันย่อยของแก๊สอื่น ๆ ในแก๊สผสมนั้น ดังนั้น ความดันรวมของแก๊สผสมจึงมีค่าเท่ากับผลรวมของความดันย่อยของแก๊สต่างๆ และแก๊สแต่ละชนิดจะแพร่อย่างอิสระด้วยอัตราความเร็วที่ขึ้นอยู่กับ pressure gradient ของแก๊สนั้น ๆ

**3. Boyle's law** เมื่อแก๊สถูกอัด ความดันของแก๊สที่เพิ่มขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาตรของแก๊สที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิคงที่ ดังนั้น การลดปริมาตรแก๊สลงจะทำให้ความดันของแก๊สสูงขึ้น และเป็นการเพิ่มอัตราความเร็วในการแพร่หรือการเคลื่อนที่ของแก๊สนั้น ๆ ให้สูงขึ้นตามไปด้วย

**4. Charles's law** ภายใต้ปริมาตรคงที่ ความดันของแก๊สจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ ดังนั้น การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้โมเลกุลของแก๊สมีการเคลื่อนที่มากขึ้น นั่นคือทำให้ความดันและอัตราการแพร่ของแก๊สสูงขึ้น

**5. Henry's law** การละลายของแก๊สในของเหลว จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันของแก๊สนั้นที่กระทำต่อของเหลว ดังนั้น การละลายของแก๊สในของเหลวจะมากขึ้นถ้าความดันย่อยของแก๊สนั้น ๆ สูงขึ้นที่ air-liquid interface

## อากาศในบรรยากาศ (atmospheric air)

อากาศที่มนุษย์ใช้หายใจ ก็คือ อากาศที่ล้อมรอบตัวเราหรืออากาศในบรรยากาศ ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สไนโตรเจน (4/5 ส่วน) และส่วนน้อย (1/5 ส่วน) เป็น $O_2$ ส่วน $CO_2$ มีความเข้มข้นต่ำมาก องค์ประกอบโดยละเอียดของอากาศในบรรยากาศ ดังตาราง

ตารางที่ 7-1 แสดงองค์ประกอบและสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของอากาศ ที่บรรยากาศผิวโลก

| แก๊ส | เปอร์เซ็นต์ในอากาศ |
|---|---|
| - ไนโตรเจน | 78.09 |
| - ออกซิเจน | 20.94 |
| - คาร์บอนไดออกไซด์ | 0.03 |
| - แก๊สอื่นๆ | 0.95 |

ความเข้มข้นของแก๊สต่างๆ ในร่างกายนิยมคิดในรูปของความดันย่อย (partial pressure, $P_x$) มีหน่วยเป็น มม.ปรอท ค่าความดันย่อยหาได้จากผลคูณของเปอร์เซ็นต์หรือเศษส่วน (fraction, F) ของแก๊สนั้นๆ ในแก๊สผสมกับความดันรวมของแก๊สผสม ($P_{total}$) ดังสมการ

$$P_x = P_{total} \times F$$

ที่ระดับน้ำทะเล มีความดันเท่ากับ 1 บรรยากาศ หรือ 760 มม.ปรอท หากคำนวณเป็นความดันย่อย (partial pressure) ของแก๊สแต่ละชนิด จะเป็นดังนี้

- $P\ N_2$ = 592.8 มม.ปรอท
- $P\ O_2$ = 159.6 มม.ปรอท
- $P\ Ar$ = 7.068 มม.ปรอท
- $P\ CO_2$ = 0.228 มม.ปรอท

ในอากาศที่เราหายใจเข้าไป มีไอน้ำปะปนอยู่ด้วย ดังนั้น หากต้องการคำนวนหาค่าความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดในแก๊สผสม จึงต้องหักค่าความดันไอน้ำออกก่อน โดยทั่วไปความดันไอน้ำจะมีค่าตามอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ภายในร่างกายของเราซึ่งอิ่มตัวด้วยไอน้ำและมีอุณหภูมิประมาณ 37 C ความดันไอน้ำมีค่า 47 มม.ปรอท

**อากาศในถุงลมปอด (alveolar air)**

$O_2$ ในถุงลม จะแพร่ออกไปสู่เลือด และ $CO_2$ จากเลือดจะแพร่เข้าสู่ถุงลมตลอดเวลา เมื่อหายใจเข้า อากาศใหม่จากบรรยากาศที่เข้าสู่ถุงลม จะเข้ามาผสมกับอากาศเก่าในถุงลม ที่เหลือค้างจากการหายใจออกครั้งก่อน $O_2$ ในอากาศใหม่จะเข้าแทนที่ $O_2$ ในถุงลม ที่แพร่ออกไปสู่เลือด และ $CO_2$ ที่แพร่ออกจากเลือดเข้ามาอยู่ในถุงลม จะถูกเจือจางลง จากนั้นบางส่วนของอากาศผสมในถุงลมนี้ จะถูกหายใจออกไป ปริมาณ $O_2$ ในถุงลมจะลดลง และ $CO_2$ จะสูงขึ้น จนกว่าจะมีอากาศใหม่จากการหายใจเข้ามาถึง

อย่างไรก็ตาม ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้า-ออกถุงลมและครั้งนั้น มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาตรอากาศเดิมที่มีอยู่ในถุงลม จึงทำให้ $Po_2$ และ $Pco_2$ ของอากาศในถุงลมเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ โดยความดันย่อยของ $O_2$ ในถุงลม มีค่าประมาณ 100 มล.ปรอท และความดันย่อยของ $CO_2$ ในถุงลม มีค่าประมาณ 40 มล.ปรอท

**เนื้อเยื่อผนังถุงลมและหลอดเลือด (Alveolo-capillary membrane)**

การที่การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างปอดกับเลือด จะเกิดขึ้นได้ต้องมีการแพร่ผ่าน alveolo-capillary membrane หรือเรียกอีกอย่างว่า Respiratory membrane ซึ่งประกอบด้วย 4 ชั้น คือ

1. Alveolar epithelium membrane หรือเซลล์เยื่อบุผนังถุงลมซึ่งหนาประมาณ 0.05 - 0.3 ไมครอน
2. Basement membrane ของผนังถุงลมและผนังหลอดเลือดฝอย ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.02 - 0.2 ไมครอน
3. Interstitial fluid layer เป็นชั้นของเหลวระหว่างเซลล์ ที่แทรกตัวอยู่ระหว่างผนังถุงลมและผนังหลอดเลือดฝอย
4. Capillary endothelium membrane หรือเซลล์ผนังหลอดเลือดฝอย มีความหนาประมาณ 0.04 - 0.2 ไมครอน

ซึ่งความหนาทั้ง 4 ชั้นรวมกันแล้วจะมีความหนาไม่เกิน 0.7 ไมครอน และมีพื้นที่รวมทั้งหมดมากถึง 70 - 90 ตรม. alveolo-capillary membrane จึงเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมมากสำหรับการแลกเปลี่ยนแก๊สได้อย่างรวดเร็ว

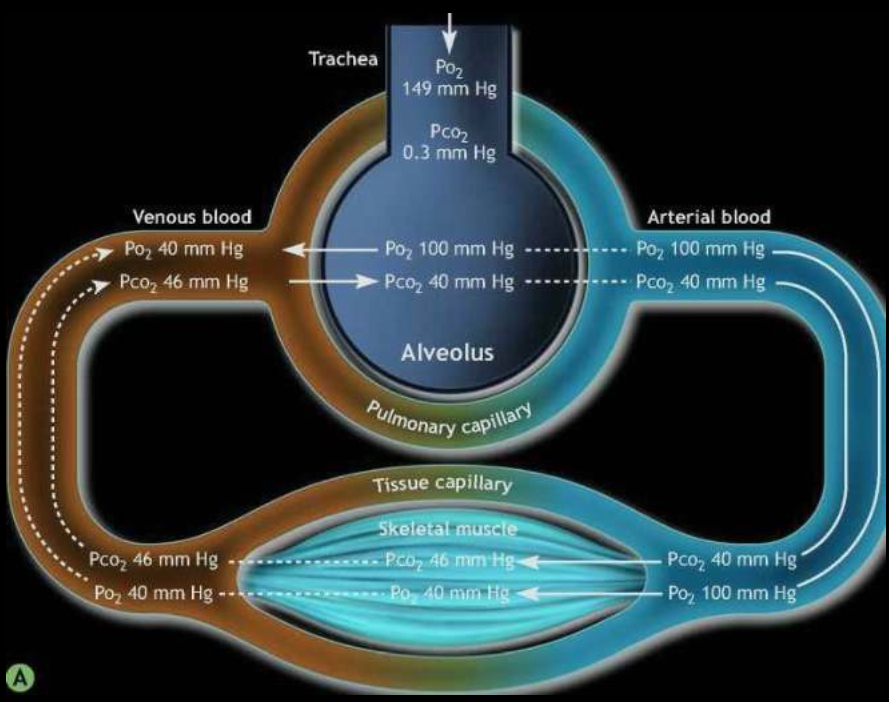
## การแลกเปลี่ยนแก๊ส (Gas exchange)

ที่เรียกว่า เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดขึ้น เนื่องจากที่บริเวณถุงลมปอด และบริเวณหลอดเลือดฝอยของเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย จะมีการแพร่ของ $O_2$ และ $CO_2$ ผ่าน membrane ไปในทิศทางตรงข้าม ตามลาดความดันของแก๊สแต่ละชนิดอย่างรวดเร็ว

**1. การแพร่ของแก๊ส $O_2$**

**1) ที่ถุงลมปอด** $O_2$ จะแพร่จากถุงลมปอด ซึ่งมีค่า alveolar $Po_2$ ประมาณ 100 มม.ปรอท ไปยังเส้นเลือดฝอยของปอดซึ่งมีค่า venous $Po_2$ ประมาณ 40 มม.ปรอท อย่างรวดเร็ว เข้าไปจับกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงจนถึงจุดสมดุลของการแพร่ คือ มีความดันย่อยของ $O_2$ ในเลือด ประมาณ 97 - 100 มม.ปรอท โดยใช้เวลา 0.25 วินาทีเท่านั้น (จากในภาวะปกติเลือด จะอยู่ในเส้นเลือดฝอยของปอดนานประมาณ 0.75 วินาที) สำหรับการออกกำลังกายอย่างหนัก อัตราการไหลของเลือดผ่านปอดจะเพิ่มสูงมากขึ้น ทำให้เวลาที่เลือดใช้ในการผ่านหลอดเลือดฝอยของปอดลดลงจาก 0.75 วินาที เหลือเพียง 0.25 วินาที แต่ในคนปกติเวลาที่เหลือนี้ก็ยังเพียงพอในการแลกเปลี่ยนแก๊สที่สมบูรณ์

**2) ที่เนื้อเยื่อ** : เนื่องจากเซลล์ใช้ $O_2$ ไปตลอดเวลาในกระบวนการเมตาบอลิซึม ดังนั้นความดันย่อยของ $O_2$ ในเซลล์จึงต่ำ ดังนั้น $O_2$ จึงแพร่ตามความแตกต่างของความดัน (pressure gradient) จากเลือด ($Po_2$ = 95 มม.ปรอท) ผ่านผนังหลอดเลือดฝอยเข้าสู่เซลล์




รูปที่ 7-21 แสดงการแลกเปลี่ยนแก๊สที่ถุงลมและเนื้อเยื่อ

**2. การแพร่ของ $CO_2$**

**1) ที่ถุงลมปอด** เลือดดำที่มายังปอด มี $CO_2$ สูง (venous $Pco_2$ = 46 มม.ปรอท) และอยู่ในรูปแบบต่างๆ กัน ได้แก่

=> จับกับฮีโมโกลบิน เรียกว่า carbamino hemoglobin ($Hb.CO_2$)

=> อยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ($HCO_3^-$) ซึ่งเกิดจากกระบวนการภายในเซลล์ของเม็ดเลือดแดง แล้วแพร่ออกมาในน้ำเลือด

=> ละลายอยู่ในน้ำเลือด ในรูปของ dissolved $CO_2$

$Hb.CO_2$ เมื่อมาถึงหลอดเลือดฝอยของปอด ฮีโมโกลบินจะปล่อย $CO_2$ เพื่อจับกับ $O_2$ ซึ่งแพร่ออกมาจากถุงลมปอด สำหรับ $CO_2$ ที่ละลายในเลือด จะแพร่อย่างรวดเร็วตาม pressure gradient เข้าสู่ถุงลมปอดได้ทันที ส่วน $HCO_3^-$ จะรวมตัวกับ $H^+$ ในเม็ดเลือดแดงและในพลาสมา ได้เป็นกรดคาร์บอนิค (carbonic acid) ก่อน แล้วจึงแตกตัวเป็น $CO_2$ และ $H_2O$ โดยมีเอ็นไซม์ carbonic anhydrase ในเม็ดเลือดแดง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเปลี่ยนกรดคาร์บอนิค เป็น $CO_2$ แล้วขับออกจากร่างกาย เป็นกลไกอย่างหนึ่งที่ช่วยควบคุมสมดุลกรด-ด่างในร่างกาย

**2) ที่เนื้อเยื่อ** $CO_2$ ที่ถูกสร้างตลอดเวลาจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ทำให้เซลล์มี $Pco_2$ สูง ($Pco_2$ = 46-50 มม.ปรอท) $CO_2$ จากเซลล์จึงแพร่เข้าสู่หลอดเลือดซึ่งมี $Pco_2$ ที่ต่ำกว่า ($Pco_2$ = 40 มม.ปรอท)

## การขนส่งแก๊ส (Gas transport)

**การขนส่ง $O_2$** ประกอบด้วย 2 วิธี ดังนี้

**1) การละลายในพลาสมา (Dissolved)** เกิดขึ้นเพียง 0.3% ของการขนส่ง $O_2$ ทั้งหมด เพราะ $O_2$ มีความสามารถในการละลายในพลาสมาได้น้อยมาก วิธีนี้วิธีเดียวไม่เพียงพอกับความต้องการ $O_2$ ของเซลล์ทั่วร่างกาย

**2) จับกับ Hemoglobin** ในรูป Oxyhemoglobin ($HbO_2$) การขนส่ง $O_2$ ส่วนใหญ่ 99% ขนส่งด้วยวิธีนี้ โดยในเลือด 100 มล. มี Hb อยู่ 15 กรัม และ Hb 1 กรัม สามารถจับกับ $O_2$ ได้ประมาณ 1.34 มล. ดังนั้นหาก Hb ทั้งหมด ในเลือดจับกับ $O_2$ ได้เต็มที่ (เรียกว่า 100% saturation) เลือด 100 มล. จึงสามารถขนส่ง ได้ 20.01 มล. (1.34 x 15)

hemoglobin 1 โมเลกุล ประกอบด้วย heme 4 โมเลกุล และแต่ละ heme จะมีเหล็ก 1 อะตอม ซึ่งสามารถจับกับ $O_2$ ได้ 1 โมเลกุล เรียก Hb ที่จับกับ $O_2$ แล้วว่า **oxyhemoglobin**

ปฏิกิริยาในการเข้าของ Hb กับ $O_2$ จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ภายในเวลาไม่ถึง 0.01 วินาที และปฏิกิริยาการปล่อย $O_2$ ก็เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามการจับหรือปล่อย $O_2$ ของ heme ทั้ง 4 โมเลกุล เกิดขึ้นไม่พร้อมกัน และด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน กล่าวคือ หลังจาก $O_2$ โมเลกุลแรกเข้าจับกับ heme ตัวแรกแล้ว จะมีผลให้ความสามารถในการจับ $O_2$ ของ Heme ตัวที่ 2, 3, 4 มีมากขึ้นเรื่อยๆ เรียกกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Po_2$ กับ % saturation ของ Hb นี้ว่า **Hb-$O_2$ dissociation curve**

**ปัจจัยที่มีผลต่อการจับ $O_2$ ของ Hemoglobin**

มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อ Hb-$O_2$ dissociation curve โดยหากทำให้ curve เลื่อนไปทางขวา แสดงว่า ที่ค่า $Po_2$ เท่ากัน % $O_2$ saturation ของ $HbO_2$ จะต่ำลง หรืออาจกล่าวได้ว่า ปัจจัยนั้น ๆ ทำให้ Hb จับกับ $O_2$ ลดลง หรือทำให้ $HbO_2$ ปล่อย $O_2$ ได้มากขึ้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ Hb-$O_2$ dissociation curve ได้แก่

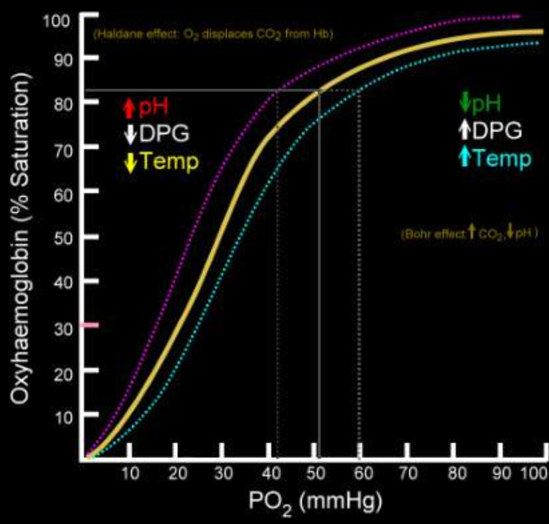
**1. $H^+$ หรือ pH** ถ้าเลือดมีความเป็นกรดมากขึ้น (pH ลดลง) ความสามารถในการจับ $O_2$ จะลดลง หรือเรียกว่า Bohr effect เพื่อเป็นการปล่อย $O_2$ ให้แก่เนื้อเยื่อมากขึ้น curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางขวา ในทาง

ตรงกันข้ามถ้าเลือดมีความเป็นด่าง (pH เพิ่มขึ้น) ความสามารถในการจับ $O_2$ จะมากขึ้น curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางซ้าย

**2. $CO_2$** การที่เนื้อเยื่อที่กำลังทำงาน ปล่อย $CO_2$ ออกมา และมีผลลด pH ของเลือด จะทำให้ curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางขวา นอกจากนี้ $CO_2$ ยังเข้าจับกับโมเลกุลของ Hb เกิดเป็นสารประกอบ Carbaminohemoglobin ทำให้ curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางขวาด้วยเช่นกัน

**3. อุณหภูมิ** การเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลให้ $HbO_2$ ปล่อย $O_2$ ออก ทำให้ curve ของกราฟเคลื่อนไปทางขวา ในทางตรงกันข้ามการลดอุณหภูมิจะส่งผลให้การจับ $O_2$ ได้มากขึ้น curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางซ้าย

**4. 2,3 Diphosphoglycerate (2,3 DGP)** ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นในขบวนการ glycolysis ของเม็ดเลือดแดง 2,3 DGP จะเข้าจับกับ globin ของ $HbO_2$ ที่ปล่อย $O_2$ แล้ว ดังนั้นเมื่อเม็ดเลือดแดงมี 2,3 DGP มากขึ้น $HbO_2$ จะปล่อย $O_2$ มากขึ้น curve ของกราฟจะเคลื่อนไปทางขวา ดังนั้นปัจจัยใดก็ตาม ที่ทำให้ร่างกายเกิด glycolysis มาก ก็จะทำให้มี 2,3 DGP มาก เช่น การออกกำลังกาย การขึ้นไปอยู่บนที่สูง และภาวะที่ขาดออกซิเจนเป็นเวลานาน




รูปที่ 7-22 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการจับของ Hemoglobin กับ Oxygen

**การขนส่ง $CO_2$**

การขนส่ง $CO_2$ จากเนื้อเยื่อไปยังปอด มี 3 วิธี ดังนี้

**1) ในรูปของไบคาร์บอเนต ($HCO_3^-$)** การขนส่งโดยวิธีนี้เกิดขึ้นมากที่สุดถึง 85% ของการขนส่งทั้งหมดประมาณ 85% (ขนส่งไปกับเม็ดเลือดแดง 20%, ขนส่งไปกับน้ำเลือด 65%) โดยที่ปฏิกิริยาการเกิดไบคาร์บอเนตส่วนใหญ่จะเกิดภายในเซลล์เม็ดเลือดแดง

$CO_2$ จะรวมตัวกับน้ำ ซึ่งปฏิกิริยานี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่เม็ดเลือดแดงโดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์คาร์บอนิคแอนไฮเดรท ได้เป็นกรดคาร์บอนิค ต่อมาจะแตกตัวเป็นไบคาร์บอเนต และไฮโดรเจนไอออน จากนั้นไบคาร์บอเนตจะแพร่ออกจากเม็ดเลือดแดงเข้าสู่พลาสมา ในขณะที่คลอไรด์จากพลาสมาก็จะแพร่เข้าสู่เม็ดเลือดแดงแทนเพื่อรักษาสมดุลทางศักย์ไฟฟ้าไว้

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 \longrightarrow HCO_3^- + H^+$$

**2) ละลายในพลาสมา (Dissolved)** เนื่องจาก $CO_2$ มีความสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่า $O_2$ ถึง 20 เท่า การขนส่งด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นประมาณ 10% (5% ละลายในน้ำในเม็ดเลือดแดง และอีก 5% ละลายในพลาสมาในหลอดเลือด) ของการขนส่งทั้งหมด

**3) ในรูปของสารประกอบคาร์บามิโนฮีโมโกลบิน (carbamino Hb)** โดย $CO_2$ จับกับ Hb ในเม็ดเลือดแดง) วิธีเกิดขึ้นประมาณ 5% ของการขนส่ง $CO_2$

***********************************

## ตอนที่ 5
## การควบคุมการหายใจ (Control of Respiration)

ขณะพัก การหายใจจะเกิดขึ้นเป็นจังหวะสม่ำเสมอในอัตราประมาณ 12 ครั้ง/นาที โดยจะใช้เวลาในการหายใจเข้าประมาณ 2 วินาที ตามด้วยการหายใจออกเป็นเวลา 3 วินาที สลับกันไปเช่นนี้เรื่อย ๆ ทำให้ร่างกายได้รับ $O_2$ เข้าสู่ร่างกายและขับ $CO_2$ ออกจากร่างกาย ได้คงที่ในระดับหนึ่ง แต่เมื่อร่างกายมีความต้องการได้รับ $O_2$ และขับ $CO_2$ เปลี่ยนแปลงไป เช่น ขณะออกกำลังกาย หรือขณะหลับ อัตราและความลึกของการหายใจก็สามารถเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของร่างกายในขณะนั้นๆ เนื่องจากร่างกายของเรามีระบบในการควบคุมการหายใจที่มีประสิทธิภาพ 2 ระบบ คือ การควบคุมโดยระบบประสาท และการควบคุมทางเคมี

### การควบคุมโดยระบบประสาท (Neural Control)

การควบคุมโดยระบบประสาท มี 2 ส่วน คือ

**1) การควบคุมแบบอัตโนมัติ (autonomic control)** โดยสมองส่วนพอนด์และเมดัลลา เป็นตัวสร้างและส่งสัญญาณไปกระตุ้นกล้ามเนื้อหายใจ ทำให้เกิดการหายใจเข้า – ออกอย่างเป็นจังหวะและสม่ำเสมอทั้งในขณะหลับและตื่น

**2) การควบคุมภายใต้อำนาจจิตใจ (voluntary control)** โดยสมองส่วน cerebral cortex, hypothalamus และ cerebellum ซึ่งจะทำให้เราสามารถควบคุม บังคับ หรือปรับการหายใจให้เหมาะสมกับพฤติกรรมต่างๆ ของร่างกาย เช่น การพูด การร้องเพลง การดำน้ำ หรือการกลั้นหายใจได้ เป็นต้น หรือสามารถทำให้การหายใจเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะร่างกาย เช่น ขณะออกกำลังกาย ขณะโกรธ ขณะตื่นเต้น เป็นต้น

### ศูนย์หายใจ (Respiratory center)

ศูนย์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการหายใจในสมอง ประกอบด้วยเซลล์ประสาทจำนวนมากรวมกันเป็นกลุ่มๆ แบ่งได้เป็น 3 ศูนย์สำคัญ คือ

**1. ศูนย์หายใจในเมดัลลา (Medullary respiratory center)** เซลล์ประสาทที่ศูนย์นี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

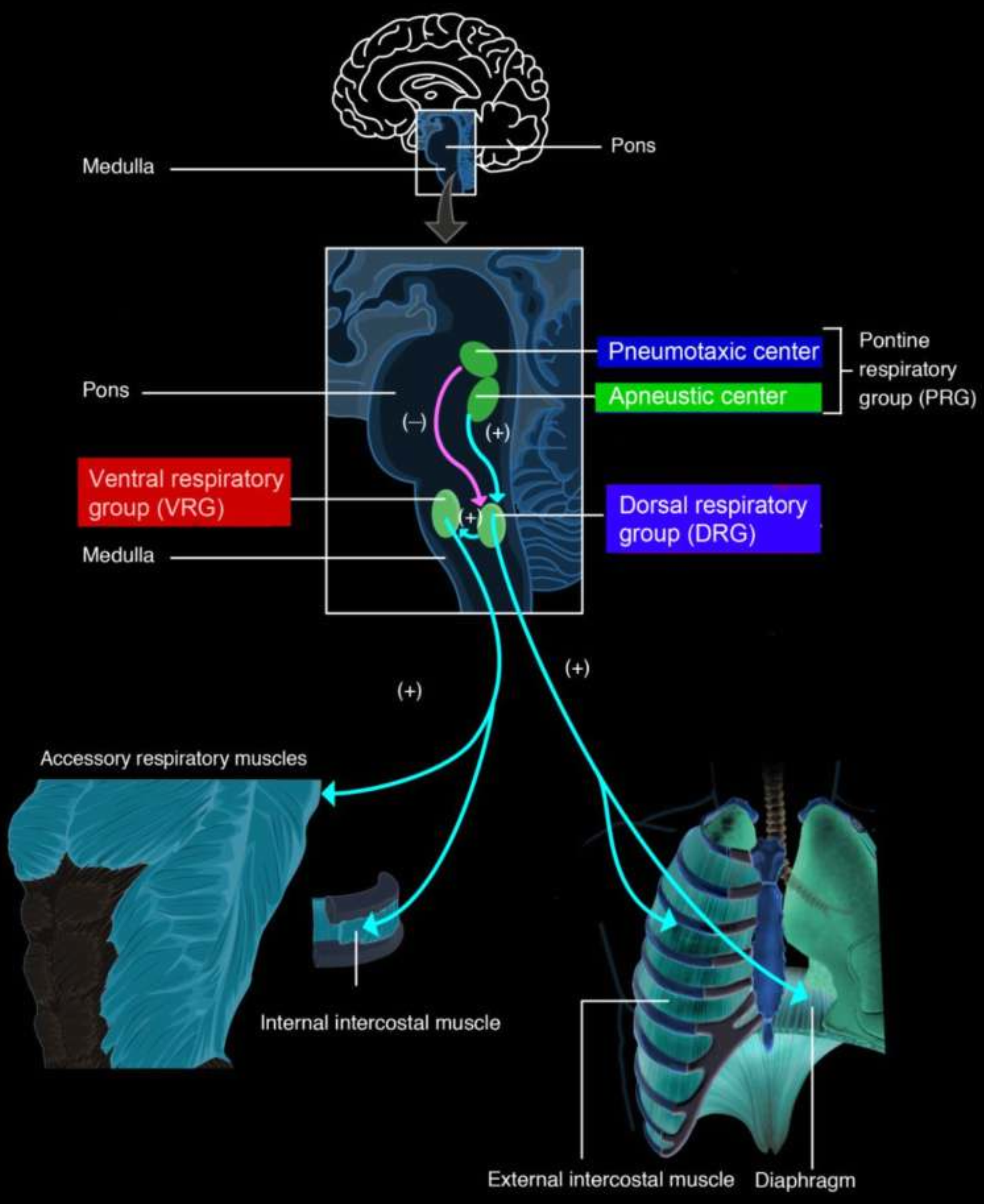
**1.1 กลุ่มที่อยู่ด้านหลัง (Dorsal respiratory group, DRG)** หรือเรียกว่า ศูนย์หายใจเข้า (inspiratory center) ศูนย์นี้สามารถสร้างกระแสประสาทขึ้นมาเอง เป็นจังหวะสัญญาณประสาทนี้จะส่งไปกระตุ้นกล้ามเนื้อหายใจเข้า คือกระบังลม (diaphragm) และกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงด้านนอก (external intercostal muscle) โดยผ่านทางเส้นประสาท phrenic nerve และ intercostal nerve ตามลำดับ สัญญาณประสาทที่กระตุ้นให้เกิดการหายใจเข้านี้ จะเริ่มเกิดเป็นสัญญาณอ่อนๆ ก่อน แล้วจึงแรงขึ้นเรื่อยๆ เป็นเวลาประมาณ 2 วินาที จึงสิ้นสุด เมื่อสัญญาณกระตุ้นหมดกล้ามเนื้อหายใจทั้ง 2 ชุด จะคลายตัวออกเกิดเป็นการหายใจออก ซึ่งเป็น passive process เป็นระยะเวลา 3 วินาที จากนั้นสัญญาณจาก DRG ก็จะเริ่มเกิดขึ้นใหม่ เป็นวงจรต่อไป

**1.2 กลุ่มที่อยู่ด้านหน้า (Ventral respiratory group, VRG)** หรือเรียกว่า ศูนย์หายใจออก (expiratory center) เซลล์ประสาทกลุ่มนี้จะไม่ทำงานเลย เมื่อหายใจเข้าออกปกติ ต่อเมื่อร่างกายมีความต้องการการหายใจเพิ่มมากขึ้น เช่น ขณะออกกำลังกาย สัญญาณกระตุ้นหายใจเข้าจาก DRG ซึ่งมีสัญญาณแรงมากขึ้น จะเป็นตัวกระตุ้น VRG ให้ทำงาน โดยเฉพาะในช่วงหายใจออก โดยจะส่งสัญญาณประสาทไปกระตุ้นกล้ามเนื้อระหว่างช่อง

กระดูกซี่โครงด้านใน (internal intercostal muscle) และกล้ามเนื้อหน้าท้อง (rectus abdominis) ให้หดตัว ช่วยดันอากาศออกได้มากกว่าปกติ

**2. ศูนย์แอปนูสติก (Apneustic center)** อยู่บริเวณส่วนล่างของสมองส่วน pons ศูนย์นี้จะส่งกระแสประสาทไปกระตุ้น DRG ทำให้ช่วงเวลาการหายใจเข้ายาวนานขึ้น หรือทำให้เกิดการหายใจเข้าตลอดเวลาจนกว่าจะมีกระแสประสาทมายับยั้ง

**3. ศูนย์นูโมแทกซิก (Pneumotaxic center)** อยู่ที่บริเวณส่วนบนของสมองส่วน pons มีบทบาทในการควบคุมอัตรา และปริมาตรการหายใจ โดยจะส่งสัญญาณประสาทไปยับยั้ง DRG ทำให้การหายใจเข้าสั้นลง อัตราการหายใจจึงเพิ่มมากขึ้น




รูปที่ 7-23 แสดงศูนย์หายใจ (Respiratory center)

## การควบคุมทางเคมี (Chemical control)

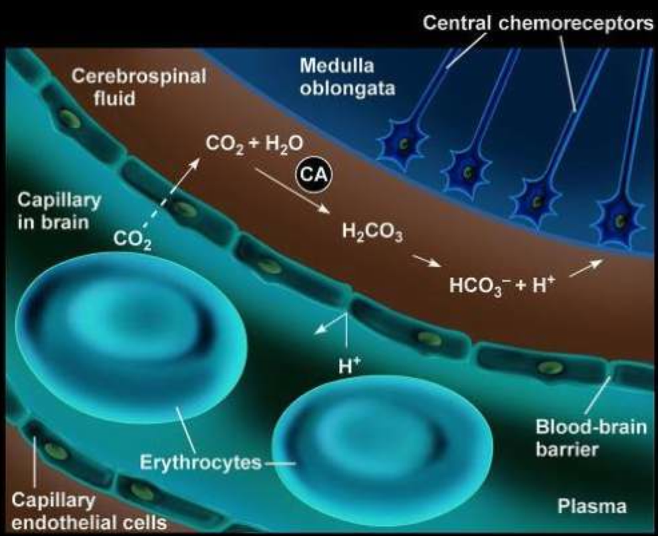
การควบคุมทางเคมี เป็นการควบคุมให้การหายใจมีอัตราและความลึกเหมาะสมกับความต้องการของร่างกายในขณะต่างๆ เราทราบกันดีอยู่แล้วว่าจุดประสงค์หลักของการหายใจ คือ เพื่อรักษาระดับ $O_2$ ในเลือดให้คงที่ในระดับสูง ($Po_2$ = 100 มม.ปรอท) และรักษาระดับของ $CO_2$ ในเลือดให้คงที่ในระดับต่ำ ($CO_2$ = 40 มม.ปรอท) ดังนั้นระดับของสารเคมีทั้ง 2 นี้ในเลือด รวมทั้งระดับ $H^+$ ซึ่งเป็นผลมาจาก $P_{CO2}$ จึงสามารถทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมทั้งกระตุ้นและยับยั้ง การทำงานของระบบหายใจได้ด้วย ในร่างกายของเราจะมีตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงของระดับสารเคมี (Chemoreceptor) ดังกล่าว แล้วส่งสัญญาณประสาทไปยังศูนย์หายใจในเมดัลลา เพื่อปรับอัตราและความลึกของการหายใจ ตัวรับรู้ chemoreceptor แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

**1. Central chemoreceptor (Chemosensitive area)** เป็นกลุ่มประสาทในสมองส่วนเมดัลลา central chemoreceptor นี้จะมีความไวหรือสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของ $H^+$ ในของเหลวที่อยู่โดยรอบ ซึ่งความเข้มข้นของ $H^+$ ในบริเวณดังกล่าว ก็ขึ้นอยู่กับ $H^+$ และ $P_{CO2}$ ในน้ำไขสันหลัง, $P_{CO2}$ ในเลือดที่มาเลี้ยงสมอง และขึ้นกับเมตาบอลิซึมของเซลล์สมองเอง

เนื่องจาก blood brain barrier (BBB) ซึ่งเป็นตัวกั้นระหว่างน้ำไขสันหลังกับเลือด ไม่ยอมให้ $H^+$ ผ่าน แต่ยอมให้ $CO_2$ ผ่านได้สะดวก ดังนั้นเมื่อ $P_{CO2}$ ในเลือดสูงขึ้น $CO_2$ จึงแพร่จากเลือดเข้ามายังน้ำไขสันหลัง แล้วทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็น $H^+$ ดังสมการ

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_2 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

$H^+$ เป็นตัวกระตุ้นโดยตรงต่อ central chemoreceptor แต่การเพิ่มของ $H^+$ ในของเหลวรอบ central chemoreceptor และในน้ำไขสันหลังนั้น เป็นผลทางอ้อมมาจากการเพิ่มขึ้นของ $P_{CO2}$ ในเลือด ดังนั้น ระดับของ $P_{CO2}$ ในเลือด จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมหรือปรับการหายใจให้เหมาะสม โดยเมื่อ $P_{CO2}$ สูงมากกว่า 40 มม.ปรอท จะกระตุ้นให้เกิดการหายใจมากขึ้น และเมื่อมีการหายใจเพิ่มขึ้น $P_{CO2}$ ในเลือดและในน้ำไขสันหลัง จะค่อยๆ ลดลงสู่ระดับปกติ



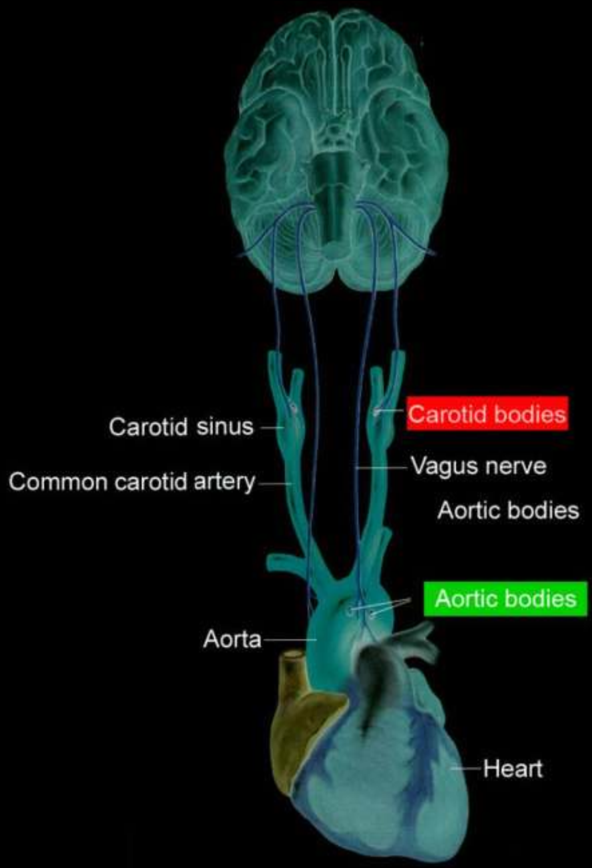

รูปที่ 7-24 แสดงการกระตุ้นโดยตรงต่อ central chemoreceptor โดย $H^+$

**2. Peripheral Chemoreceptor** เป็นตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงของสารเคมีในเลือด ได้แก่

**1) carotid bodies** ตั้งอยู่บริเวณส่วนแยกของหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงสมอง (common carotid artery) ข้างซ้ายและขวา

**2) aortic bodies** ตั้งอยู่บริเวณหลอดเลือดแดงใหญ่ที่ออกจากหัวใจ (aortic arch)

จะเห็นได้ว่า peripheral chemoreceptor ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สามารถตรวจสอบระดับสารเคมี คือ $Po_2$, $H^+$ และ $Pco_2$ ในเลือดแดงของร่างกายได้อย่างเหมาะสม peripheral chemoreceptor จะถูกกระตุ้นเมื่ออัตราการไหลของเลือดลดลงอย่างมาก เช่น ในภาวะช็อค หรือเมื่อระดับ $Po_2$ ในเลือดลดลงอย่างมาก รวมทั้ง ตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของ $H^+$ และ $Pco_2$ ในเลือดด้วย โดย carotid bodies จะส่งสัญญาณประสาทผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 และ aortic bodies จะส่งสัญญาณประสาทผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ไปกระตุ้นศูนย์การหายใจในเมดัลลา ทำให้เกิดการหายใจมากขึ้น




รูปที่ 7-25 แสดง carotid bodies และ aortic bodies

โดยสรุป จะเห็นว่า การควบคุมการหายใจของร่างกายในขณะหนึ่งๆ เป็นเรื่องที่ซับซ้อนมากและอาศัยการทำงานของหลายระบบ ศูนย์การหายใจในสมองส่วนเมดัลลา ทำหน้าที่คล้ายเป็น pace maker ของระบบหายใจ คือ เป็นตัวเริ่มส่งสัญญาณประสาทออกไปเพื่อกระตุ้นกล้ามเนื้อหายใจให้เกิดการหายใจเข้าออกอย่างต่อเนื่องกัน ศูนย์ควบคุมการหายใจในพอนด์ เป็นตัวควบคุมอัตรา และความลึกของการหายใจให้สม่ำเสมอ เร็ว หรือช้าตามความเหมาะสม ส่วนสารเคมีสำคัญในเลือด ได้แก่ $Pco_2$, $H^+$ และ $Po_2$ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราและความลึกการหายใจ ตามการทำงานของเซลล์ในร่างกาย และตามสภาพแวดล้อมภายนอกร่างกายนั้น จะเป็นตัวปรับการหายใจผ่านทาง central และ peripheral chemoreceptor ซึ่งจะส่งสัญญาณไปปรับแต่งการทำงานของศูนย์หายใจในสมองอีกต่อหนึ่ง โดยเมื่อ $Pco_2$ ในเลือดสูงขึ้น $CO_2$ จะผ่าน BBB เข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำใน CSF ของเซลล์สมอง ทำ

ให้เกิด $H^+$ มากขึ้น และมีผลกระตุ้นการหายใจผ่าน central chemoreceptor เป็นส่วนใหญ่ ส่วนการเพิ่มของ $H^+$ ในเลือดไม่มีผลต่อ central chemoreceptor เพราะ $H^+$ ผ่าน BBB ไม่ได้ แต่การลด pH ของเลือด จะมีผลกระตุ้นการหายใจโดยผ่าน peripheral chemoreceptor เช่นเดียวกับการลดลงของ $Po_2$ ในเลือด

การหายใจนอกจะถูกควบคุมโดยศูนย์หายใจในสมองสมองและระดับสารเคมีสำคัญทั้ง 3 ชนิด ในเลือดแล้ว cerebral cortex และปัจจัยอื่นๆ ยังอาจมีอิทธิพลต่อการหายใจในบางขณะด้วย

***********************************

เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**
**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**
**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

-------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบไหลเวียน
(Anatomy and Physiology of Circulatory system)

**จำนวน** 8 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบไหลเวียน
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติด้านการฉุกเฉินการแพทย์
3. สามารถนำความรู้ไปใช้ในการปฏิบัติงานด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกหน้าที่หลักของระบบไหลเวียนเลือดได้อย่างถูกต้อง
2. บอกคุณลักษณะของเลือดได้อย่างถูกต้อง
3. บอกองค์ประกอบของเลือดได้อย่างถูกต้อง
4. ชื่อบอกและหน้าที่ของโปรตีนในพลาสมาในเลือดได้อย่างถูกต้อง
5. บอกชนิดของเม็ดเลือดในเลือดได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายความหมายของฮีมาโตคริตได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายการสร้างเม็ดเลือดแดงได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายการทำลายเม็ดเลือดแดงได้อย่างถูกต้อง
9. บอกชนิดและจำนวนของเม็ดเลือดขาวได้อย่างถูกต้อง
10. บอกหน้าที่ของเม็ดเลือดขาวได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายคุณลักษณะที่สำคัญของเม็ดเลือดขาวได้อย่างถูกต้อง
12. อธิบายกลไกการห้ามเลือดได้อย่างถูกต้อง
13. อธิบายชนิดของหมู่เลือดได้อย่างถูกต้อง
14. บอกขนาดและตำแหน่งของหัวใจได้อย่างถูกต้อง
15. บอกชื่อเยื่อหุ้มหัวใจได้อย่างถูกต้อง
16. บอกชื่อผนังหัวใจได้อย่างถูกต้อง
17. บอกชื่อห้องหัวใจได้อย่างถูกต้อง
18. บอกชื่อลิ้นหัวใจได้อย่างถูกต้อง
19. บอกชื่อหลอดเลือดที่เลี้ยงหัวใจได้อย่างถูกต้อง
20. อธิบายคุณสมบัติของกล้ามเนื้อหัวใจได้อย่างถูกต้อง
21. อธิบายเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจได้ถูกต้องได้อย่างถูกต้อง
22. อธิบายลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจได้อย่างถูกต้อง

23. อธิบายลักษณะของคลื่นไฟฟ้าหัวใจได้อย่างถูกต้อง
24. ลำดับเหตุการณ์ใน Cardiac cycle ได้อย่างถูกต้อง
25. เปรียบเทียบเสียงที่เกิดจากการทำงานของหัวใจได้อย่างถูกต้อง
26. บอกปริมาณเลือดที่ถูกบีบออกจากหัวใจได้อย่างถูกต้อง
27. อธิบายวิธีการควบคุมการทำงานของหัวใจได้อย่างถูกต้อง
28. บอกชื่อหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
29. บอกชื่อหลอดเลือดดำที่ไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
30. อธิบายความดันเลือดแดง หลอดเลือดดำ หลอดเลือดฝอยได้อย่างถูกต้อง
31. บอกชื่อศูนย์ควบคุมของระบบไหลเวียนเลือดได้อย่างถูกต้อง
32. บอกชื่อกลไกการควบคุมของระบบไหลเวียนเลือดได้อย่างถูกต้อง
33. บอกสาเหตุการไหลเวียนเลือดล้มเหลวได้อย่างถูกต้อง
34. อธิบายระยะของช็อกจากระบบไหลเวียนได้อย่างถูกต้อง
35. อธิบายผลของช็อกต่อร่างกายได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจตคติในการเรียนการสอน

# 8

**************************************

# ระบบไหลเวียน

# (Anatomy and Physiology of Circulation system)

**ตอนที่ 1 เลือด**

1.1 พลาสมา

1.2 เม็ดเลือด

1.2.1 เม็ดเลือดแดง

1.2.1.1 รูปร่างและขนาด

1.2.1.2 หน้าที่

1.2.1.3 ปริมาณ

1.2.1.4 การสร้างเม็ดเลือดแดง

1.2.1.5 การทำลายเม็ดเลือดแดง

1.2.2 เม็ดเลือดขาว

1.2.2.1 Granulocyte เป็นพวกที่มีแกรนูล

1.2.2.2 Agranulocyte พวกที่ไม่มีแกรนูล

1.2.3 เกร็ดเลือด

1.3 หมู่เลือด

**ตอนที่ 2 หัวใจ**

2.1 โครงสร้างและหน้าที่ของหัวใจ

2.1.1 ขนาดและตำแหน่งของหัวใจ

2.1.2 เยื่อหุ้มหัวใจ

2.1.3 ผนังหัวใจ

2.1.4 ห้องหัวใจ

2.1.5 ลิ้นหัวใจ

2.1.6 การไหลเวียนเลือดผ่านหัวใจ

2.1.7 หลอดเลือดของหัวใจ

2.1.8 เส้นประสาทที่มาเลี้ยงหัวใจ

2.1.9 คุณสมบัติของกล้ามเนื้อหัวใจ

2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวใจ

2.2.1 เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

2.2.2 ลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

2.2.3 การนำไฟฟ้าหัวใจ

2.2.4 ระยะพักของกล้ามเนื้อหัวใจ

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อความถี่ action potential ของ nodal cells

2.3 คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

2.4 วงจรการทำงานของหัวใจ

2.4.1 ลำดับเหตุการณ์ใน Cardiac cycle

2.4.2 เสียงที่เกิดจากการทำงานของหัวใจ

2.5 ปริมาณเลือดที่ถูกบีบออกจากหัวใจ

2.5.1 Cardiac output

2.5.2 Stroke volume

2.5.3 Heart rate

2.6 การควบคุมการทำงานของหัวใจ

**ตอนที่ 3 หลอดเลือดและการไหลเวียนเลือดในร่างกาย**

3.1 หลอดเลือด

3.1.1 หลอดเลือดแดง (Arteries)

3.1.2 หลอดเลือดฝอย (Capillary)

3.1.3 หลอดเลือดดำ (Vein)

3.2 การไหลเวียนเลือดในร่างกาย

3.2.1 Pulmonary circulation

3.2.2 Systemic circulation

3.3 ความดันเลือด

3.3.1 ความดันเลือดแดง

3.3.2 การไหลเวียนในหลอดเลือดฝอย

3.3.3 ความดันเลือดดำ

3.4 อัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะต่าง ๆ

**ตอนที่ 4 การควบคุมการทำงานของระบบไหลเวียน**

4.1 ศูนย์ควบคุมของระบบไหลเวียนเลือด

4.1.1 ศูนย์ควบคุมในเมดัลลา

4.1.2 ศูนย์ควบคุมใน hypothalamus

4.1.3 ศูนย์ควบคุมภายใน cerebral cortex

4.1.4 ศูนย์ควบคุมในไขสันหลัง

4.2 ตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงในระบบไหลเวียนเลือด

4.3 การควบคุมการทำงานของหลอดเลือด

**ตอนที่ 5 การไหลเวียนเลือดล้มเหลว**

5.1 สาเหตุ

5.2 Circulatory shock

5.3 ผลของช็อกต่อร่างกาย

**ตอนที่ 6 ระบบน้ำเหลือง (Lymphatic system)**

6.1 หน้าที่ของระบบน้ำเหลือง

6.2 โครงสร้างของระบบน้ำเหลือง

6.2.1 น้ำเหลือง (Lymph)

6.2.2 ท่อน้ำเหลือง (Lymphatic Vessels)

6.2.3 อวัยวะในระบบน้ำเหลือง (Organs of the lymphatic system)

# บทที่ 8
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบไหลเวียน
# (Anatomy and Physiology of the Circulation system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

การทำงานของเซลล์ทุกเซลล์ในร่างกายต้องการอาหาร และออกซิเจน รวมทั้งสารที่จำเป็นอื่น ๆ เพื่อการดำรงชีวิต โดยอาศัยการขนส่งของระบบไหลเวียน ขณะเดียวกันระบบไหลเวียนก็จะรับของเสียที่ได้จากขบวนการเมตาบอลิซึมจากเซลล์เพื่อนำไปขับถ่ายออกจากร่างกายโดยไตหรือปอดต่อไป การไหลเวียนเกิดจากการทำงานของหัวใจ หลอดเลือด และเลือด โดยหัวใจจะทำหน้าที่หดตัว และขับดันเลือดให้ไหลไปตามหลอดเลือด เพื่อไปยังอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

**หน้าที่หลักของระบบไหลเวียนเลือด** ดังต่อไปนี้

1. สารอาหาร (Nutrient) เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน จากระบบย่อยอาหาร ไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกาย
2. ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการขนส่งออกซิเจนจากปอดไปสู่เซลล์ทั่วร่างกาย และในขณะเดียวกันก็นำคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากเซลล์ไปขับทิ้งยังปอด
3. สารจากการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ เช่น Urea, Uric acid และ Creatinine ไปยังไตเพื่อขับทิ้ง
4. น้ำ โดยการช่วยควบคุม และนำน้ำไปยังส่วนต่าง ๆ เพื่อความสมดุลของน้ำในร่างกาย
5. ความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่
6. ฮอร์โมน โดยเลือดช่วยนำฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อ ไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานของเซลล์
7. สารภูมิคุ้มกัน โดยเลือดนำสารภูมิคุ้มกันจากแหล่งผลิต เช่น อวัยวะน้ำเหลือง ไปยังเนื้อเยื่อที่มีการติดเชื้อเพื่อต่อต้านเชื้อโรค

## ตอนที่ 1
## เลือด (Blood)

เลือดเป็นเนื้อยึดต่อชนิดพิเศษ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางติดต่อระหว่างเซลล์ต่างๆ ทั่วร่างกาย การไหลเวียนของเลือดจะช่วยทำให้เซลล์มีสภาวะแวดล้อมที่คงที่และเหมาะสม เลือดจำนำอาหารไปให้เนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย และนำของเสียและสารที่หลั่งจากเนื้อเยื่อเหล่านั้นออกไปตามกระแสเลือด ไปยังอวัยวะหรือเนื้อเยื่ออื่นๆ เพื่อนำไปใช้หรือกำจัดออกจากร่างกาย

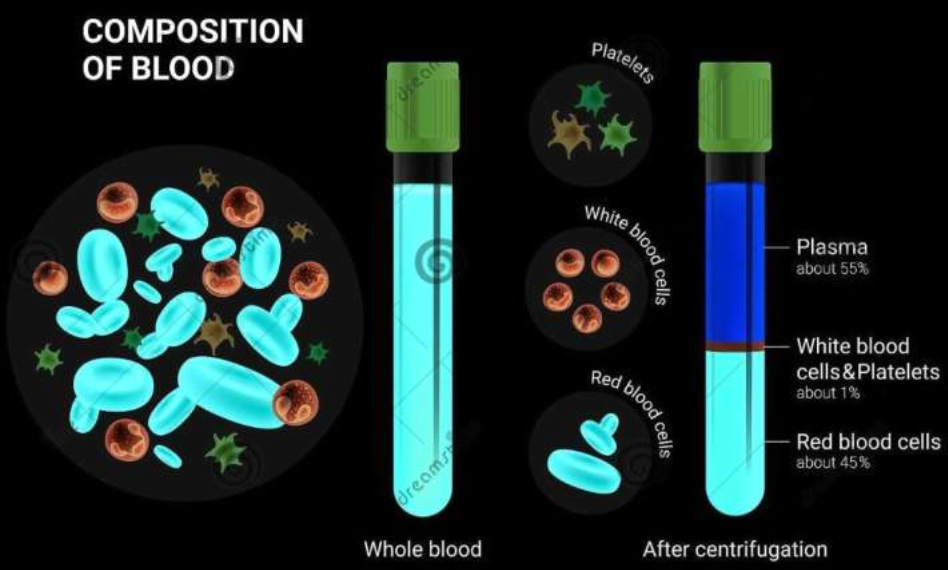
เลือดมีลักษณะเป็นของเหลวสีแดง มีความหนืดมากกว่าน้ำประมาณ 4.5 - 5.5 เท่า มีอุณหภูมิประมาณ $38^{0}$C ($100^{0}$F) ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิปกติของร่างกายเล็กน้อย และมีภาวะเป็นด่างเล็กน้อย โดยมี pH ประมาณ 7.40 (ปกติ 7.35 - 7.45) ปริมาตรของเลือด คิดเป็น 8% ของน้ำหนักตัว ในผู้ชายมีปริมาตรเฉลี่ย 5 - 6 ลิตร ส่วนในผู้หญิงมีปริมาตรเฉลี่ย 4 - 5 ลิตร ปริมาณเลือดอาจเปลี่ยนแปลงได้ด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น การมีปริมาตรลดลงจากการเสียเลือด การสูญเสียเม็ดเลือดซึ่งอาจเกิดจากมีการทำลายหรือมีการสังเคราะห์เม็ดเลือดแดงน้อยลงทำให้เกิดภาวะเลือดจาง หรือการสูญเสียเฉพาะพลาสมา เช่น การถูกไฟไหม้

เลือดประกอบด้วยองค์ประกอบใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ

=> **พลาสมา (Plasma)** เป็นส่วนของของเหลวที่มีสารต่าง ๆ ละลายอยู่

=> **เซลล์เม็ดเลือด (Blood cells)** ประกอบด้วย เม็ดเลือดแดง (Erythrocyte หรือ Red blood cells, RBC), เม็ดเลือดขาว (Leukocyte หรือ White blood cells, WBC) และเกร็ดเลือด (Platelet หรือ Thrombocyte)

ถ้าเราเจาะเลือดมาจำนวนหนึ่ง นำไปใส่หลอดแก้ว ซึ่งมีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง จะเห็นเลือดแยกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่อยู่ด้านบนจะเป็นของเหลวใสสีเหลืองอ่อน เรียกว่า **พลาสมา (Plasma)** มีประมาณ 55% ส่วนที่อยู่ด้านล่างจะมีสีแดง เป็น**เม็ดเลือดแดง (Erythrocyte หรือ Red blood cells, RBC)** มีประมาณ 45% และระหว่างชั้นของเม็ดเลือดแดงกับชั้นของพลาสมา จะมีชั้นบาง ๆ สีขาว แทรกอยู่ตรงกลางเรียกว่า **Buffy coat** ซึ่งเป็นส่วนของ**เม็ดเลือดขาว (White blood cells, WBC) และเกร็ดเลือด (Platelet)**




รูปที่ 8-1 แสดงส่วนประกอบของเลือด เมื่อนำเลือดสด (whole blood) ไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง

### 1.1 พลาสมา (Plasma)

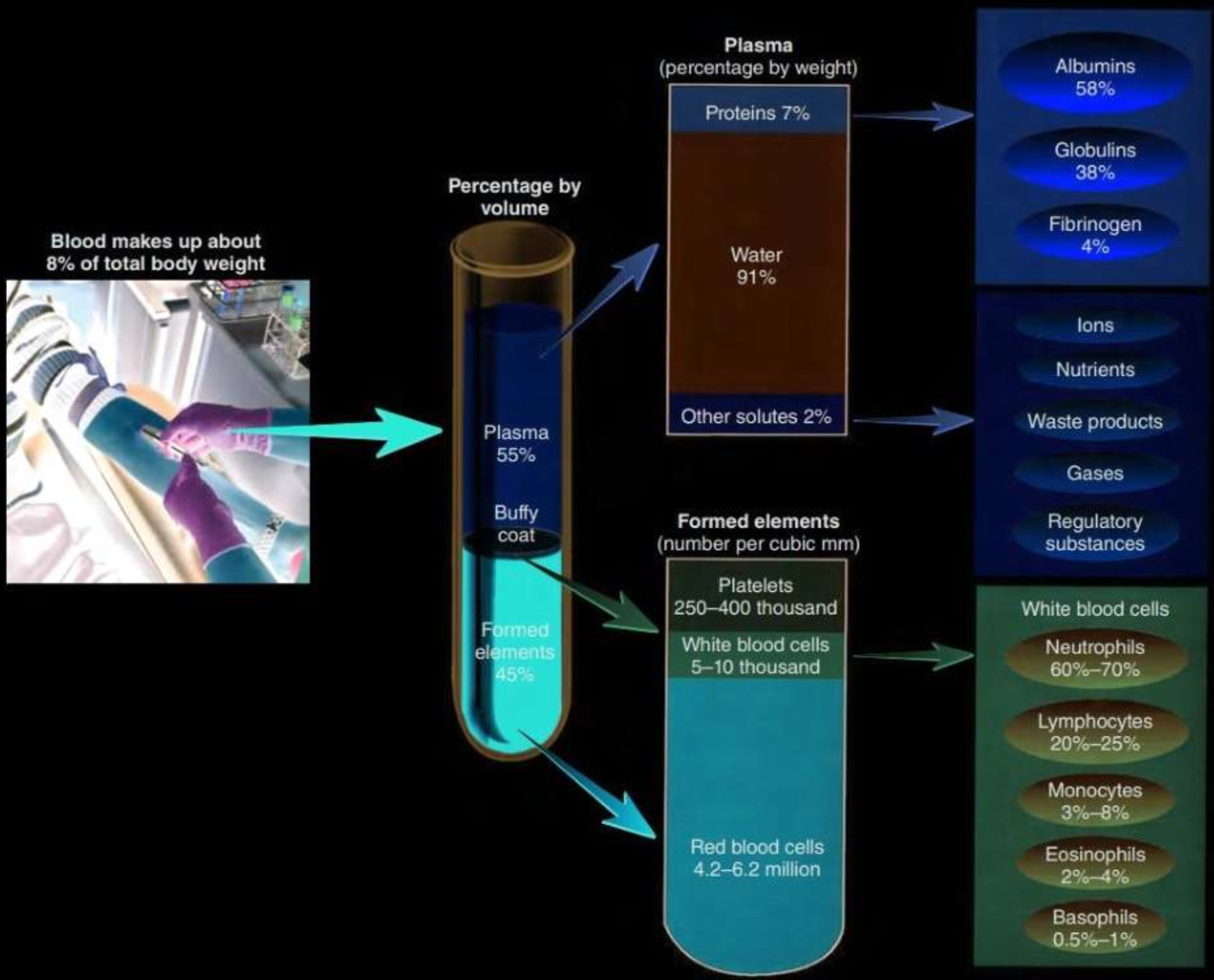
คนปกติมีปริมาตรของพลาสมาในร่างกายประมาณ 5% ของน้ำหนักตัว พลาสมาเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน ประกอบด้วยน้ำ 91.5% ส่วนอีก 8.5% จะเป็นสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในพลาสมา เช่น โปรตีน 7%, แร่ธาตุต่าง ๆ 1.5% เป็นต้น โปรตีนในพลาสมา ประกอบด้วย

=> **อัลบูมิน (Albumin)** เป็นโปรตีนที่สร้างจากตับ มีประมาณ 6-8 กรัม/เลือด 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของโปรตีนในพลาสมาจะมีมากกว่าในของเหลวระหว่างเซลล์ ถึง 4 เท่า จึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิด Colloidal osmotic pressure ของเลือดสูงกว่า Colloidal osmotic pressure ของเหลวระหว่างเซลล์ ดังนั้น หน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งของอัลบูมิน คือช่วยควบคุมปริมาตรเลือดของร่างกายให้อยู่ในปริมาณที่ปกติ โดยป้องกันไม่ให้น้ำในเลือดสูญเสียออกไปสู่ของเหลวระหว่างเซลล์

=> **โกลบูลิน (Globulin)** เป็นโปรตีนที่สร้างจากตับ มีประมาณ 4-6 กรัม/เลือด100 มิลลิลิตร ทำหน้าที่เกี่ยว ข้องกับภูมิคุ้มกัน และเป็นตัวพาสารต่าง ๆ เช่น ทองแดง ไขมัน และบิลลิรูบิน

=> **ไฟบริโนเจน (Fibrinogen)** เป็นโปรตีนที่สร้างจากตับ ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด ถ้าแยกไฟบริโนเจน (fibrinogen) ออกจากส่วนพลาสมาแล้ว ของเหลวส่วนนั้น เรียกว่า **Serum**

นอกจากนี้ ในพลาสมายังประกอบไปด้วย non protein nitrogen (NPN) ซึ่งเกิดจากการเมตาบอลิซึมของโปรตีน เช่น urea, uric acid, creatinine, ammonia และสาร electrolytes เช่น $Na^+$, $K^+$, $Ca^{++}$, $Cl^-$ และ $HCO3^-$



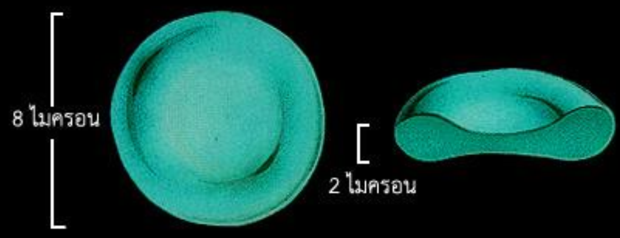

รูปที่ 8-2 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบของเลือด

## 1.2 เม็ดเลือด (Blood cells)

เม็ดเลือดมี 3 ชนิด ได้แก่ เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด เซลล์เม็ดเลือดขาวทั้ง 3 ชนิด (ยกเว้นเซลล์เม็ดเลือดขาวบางชนิด) สร้างมาจากเซลล์ต้นตอ (stem cells) ในไขกระดูก ซึ่งโดยปกติ เซลล์ในไขกระดูกจะเป็นเม็ดเลือดขาว ประมาณ 75% ส่วนที่กำลังเจริญเป็นเม็ดเลือดแดง มีประมาณ 25% อย่างไรก็ตาม ในเลือดคนเรามีเม็ดเลือดแดงมากกว่าเม็ดเลือดขาว 500 เท่า ด้วยเหตุที่เม็ดเลือดแดงมีช่วงอายุยาวกว่าเม็ดเลือดขาว

### 1.2.1 เม็ดเลือดแดง (Erythrocyte หรือ Red blood cells, RBC)

**1.2.1.1 รูปร่างและขนาด** เซลล์เม็ดเลือดแดงที่โตเต็มที่ มีลักษณะเป็นเซลล์กลมเว้าเข้าหากันตรงกลาง (biconcave) ไม่มีนิวเคลียส มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7-8 ไมโครเมตร หนาประมาณ 2 ไมโครเมตร จากลักษณะที่เป็น biconcave ทำให้เม็ดเลือดแดงสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยไม่ทำให้ปริมาตรเปลี่ยน และด้วยเหตุนี้เม็ดเลือดแดงสามารถมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นโดยที่แรงตึงผิวและพื้นที่ผิวอาจเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

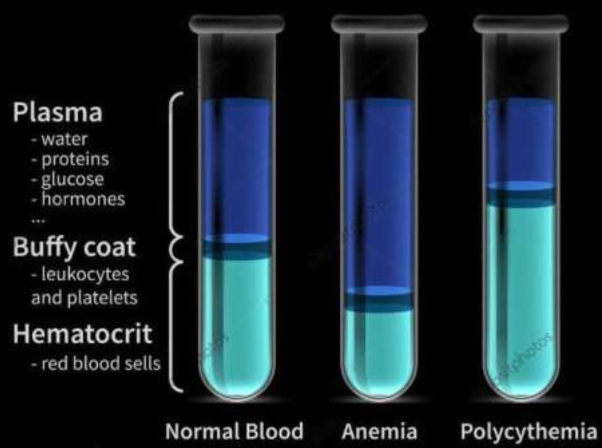



รูปที่ 8-3 แสดงรูปร่างเม็ดเลือดแดง

**1.2.1.2 หน้าที่** เม็ดเลือดแดงทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างเนื้อเยื่อต่างๆ และถุงลม โดยมีฮีโมโกลบินเป็นตัวจับแก๊สต่างๆ ในการขนส่ง ซึ่งรูปร่างที่เป็น biconcave ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงมีพื้นที่ผิวมาก จึงทำให้มีการแพร่ของแก๊สเกิดได้เร็ว นอกจากนี้เม็ดเลือดแดงยังช่วยทำหน้าที่ปรับสมดุลกรด-ด่าง ของเลือด

**1.2.1.3 ปริมาณ** ในผู้ใหญ่เพศชาย มีเม็ดเลือดแดงมีประมาณ 5.5 ล้านเซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร และเพศหญิงมีประมาณ 4.8 ล้านเซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตรในผู้หญิง ปริมาณเม็ดเลือดแดงอาจมีความแตกต่างกัน ตามอายุ ภูมิอากาศ ระดับความสูงของที่อยู่อาศัย เป็นต้น และอาจพบเม้ดเลือดแดงที่ยังเจริญไม่เต็มที่ เรียกว่า reticulocyte count ได้ประมาณ 1-2 %

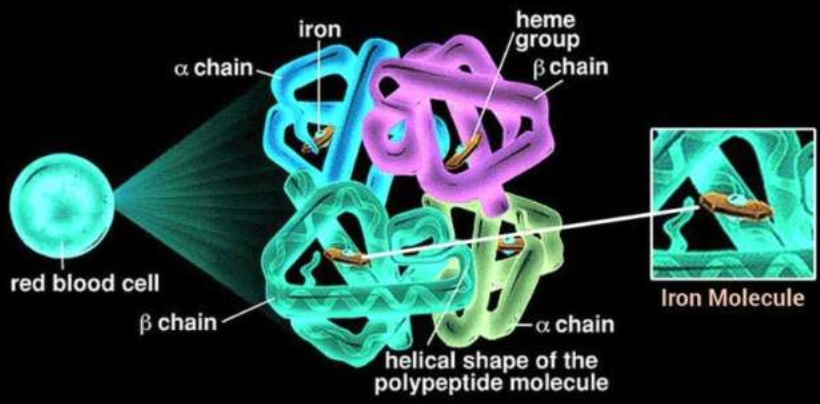
**ฮีมาโตคริต (Hematocrit, Hct.)** หมายถึง อัตราส่วนของปริมาตรเม็ดเลือดแดง ต่อปริมาตรเลือดทั้งหมด ทำได้โดยการเจาะเลือดมาใส่ในหลอดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด จากนั้นนำไปปั่น เม็ดเลือดแดงที่มีน้ำหนักมากกว่าจะตกอยู่ข้างล่าง โดยค่าฮีมาโตคริตคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ในผู้ใหญ่ปกติ มีค่าประมาณ 40-45% ค่าฮีมาโตคริตอาจเปลี่ยนแปลงได้จากสาเหตุหลายประการ หากมีค่าสูงกว่าปกติ เรียกว่า **ภาวะเลือดข้น (Polycythemia)** และมีค่าต่ำกว่าปกติ เรียกว่า **ภาวะเลือดจาง (Anemia)**




รูปที่ 8-4 แสดงส่วนประกอบของเลือดในภาวะเลือดจาง (anemia) และภาวะเลือดข้น (polycythemia)

**ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin, Hb)** เป็นโปรตีนในเม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่รับส่งออกซิเจน ฮีโมโกลบินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วย 4 Subunit (หน่วยย่อย) โดยแต่ละหน่วยย่อยประกอบด้วย 1 Heme จับกับโพลีเปปไทด์ (polypeptide) 1 สาย

แต่ละ Heme มี Fe 1 อะตอม (อยู่ในรูป $Fe^{+2}$) ส่วนโพลีเปปไทด์ทั้ง 4 สาย ในฮีโมโกลบิน เรียกว่า **globin** สายโพลีเปปไทด์ ทั้ง 4 สาย แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ๆ ละ 2 คู่ คือ แอลฟ่าและเบต้า สำหรับฮีโมลโกลบินของผู้ใหญ่ (Adult hemoglobin, HbA) หรือแอลฟ่ากับแกรมม่า สำหรับฮีโมลโกลบินของเด็ก (Fetal hemoglobin, HbF) เป็นต้น

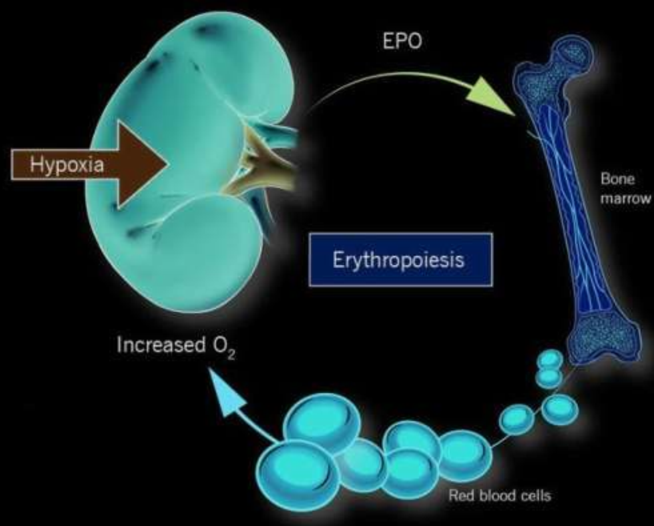



รูปที่ 8-5 แสดงโมเลกุลของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง

ฮีโมโกลบินสามารถจับกับออกซิเจน เป็น **Oxyhemoglobin** ความสามารถในการจับกับออกซิเจนขึ้นกับ pH, อุณหภูมิ, $PCO_2$, $PO_2$ ของเลือด และความเข้มข้นของสาร 2,3 - diphosphoglycerate (2,3 DPG) ส่วนฮีโมโกลบินที่จับกับคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า **Carbaminohemoglobin**

ฮีโมโกลบิน 1 กรัมสามารถจับกับออกซิเจนได้เต็มที่ 1.34 มล. ดังนั้น เลือด 100 มล. สามารถจับกับออกซิเจนได้ 20 มล. หากเลือดเลือดที่ออกจากปอดจำนวน 100 มล. มีปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่ได้จับกับออกซิเจนเกิน 5 กรัม จะทำให้เลือดมีสีคล้ำลง ผิวหนังเขียวคล้ำ เห็นได้ชัดตามปลายมือปลายเท้า ริมฝีปากเรียกว่า ภาวะ**cyanosis**

**1.2.1.4 การสร้างเม็ดเลือดแดง** เม็ดเลือดแดง สร้างจากไขกระดูก โดยกระบวนการที่เรียกว่า **อีริโทรพอยอีซิส (Erythropoiesis)** อัตราการสร้างปกติประมาณ 400-500 มล./เดือน อัตราการสร้างเปลี่ยนแปลงได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแรงดันหรือปริมาณออกซิเจนในเลือด เช่น ในกรณีร่างกายมีการเสียเลือด จะมีผลเร่งไขกระดูกให้สร้างเม็ดเลือดแดงมากขึ้น การสร้างเม็ดเลือดแดงถูกควบคุมโดยฮอร์โมน **อีริโทรโพอิติน (Erythropoietin)** ซึ่งสร้างจากไต

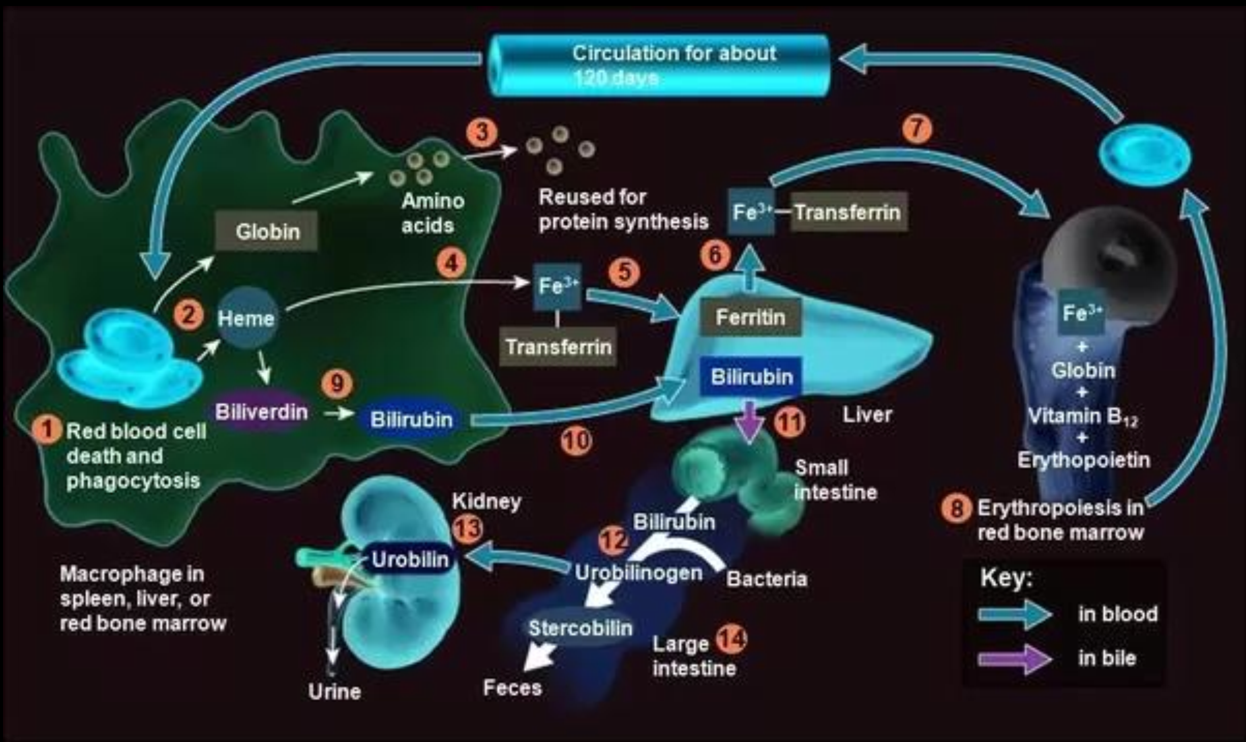



รูปที่ 8-6 แสดงกลไกการสร้างเม็ดเลือดแดง เมื่อร่างกายอยู่ในภาวะ hypoxia (ที่มา : https://www.ccjm.org/)

**1.2.1.5 การทำลายเม็ดเลือดแดง** โดยทั่วไปเม็ดเลือดแดงมีอายุประมาณ 120 วัน จากสาเหตุที่เม็ดเลือดแดงต้องเสียดสีกับผนังของหลอดเลือดและสัมผัสกับสารเคมีต่าง ๆ ในขณะที่มันเคลื่อนที่ไป ประกอบกับเม็ดเลือดแดงเมื่อมีอายุมากขึ้น จำนวน ATP ในเซลล์จะลดลงไม่เพียงพอในการที่จะนำไปใช้เพื่อทำให้ผนังของเม็ดเลือดเกิดความยืดหยุ่น จึงมีผลให้ผนังเม็ดเลือดแดงเสื่อม เม็ดเลือดแดงที่มีอายุมากจึงแตก (hemolysis) ได้ง่าย

เม็ดเลือดแดงที่มีอายุส่วนใหญ่ถูกล้อมและกลืนโดยเซลล์มาโครฟาจที่ตับและม้าม ภายในเซลล์มาโครฟาจฮีโมโกลบินจะถูกสลายเป็น Heme กับ Globin ต่อมา Heme จะถูกสลายต่อไป อะตอมของเหล็กในฮีมจะถูกปล่อยออกและนำไปใช้ในการสร้างฮีมตัวใหม่ ส่วนที่เหลือของฮีม จะถูกเปลี่ยนเป็น biliverdin แล้วเปลี่ยนเป็น bilirubin เข้าสู่พลาสมา โดยการจับกับอัลบูมิน ซึ่งจะพาไปยังเซลล์ตับ แล้วขับออกมากับน้ำดีเข้าสู่ลำไส้เล็ก บางส่วนของบิลิรูบินจะถูกดูดซึมกลับเข้าสู่กระแสเลือด แล้วถูกขับที่ไตปนออกมากับน้ำปัสสาวะ ส่วนใหญ่ที่เหลือในลำไส้ใหญ่จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยเอ็นไซม์ของแบคทีเรียในลำไส้ให้เป็นสารสีน้ำตาลออกมากับอุจจาระ

บิลิรูบิน เป็นสารมีสีเหลืองทอง หากมีความเข้มข้นในกระแสเลือดเกิน 2 มิลลิกรัม/เลือด 100 มิลลิลิตร จะทำให้ผิวหนัง เยื่อบุตา เยื่อบุต่างๆ มีสีเหลือง เรียกว่า **ดีซ่าน (Jaundice)** การเพิ่มของบิลิรูบินในเลือดเกิดได้หลายสาเหตุ เช่น เม็ดเลือดแดงถูกทำลายมากกว่าปกติ หรือบิลิรูบินเข้าสู่ตับได้น้อยลง การหลั่งบิลิรูบินจากตับเข้าสู่ท่อทางเดินน้ำดีลดลง เช่น การอุดกั้นของท่อทางเดินน้ำดี




รูปที่ 8-7 แสดงขั้นตอนการสลายเม็ดเลือดแดง

**โลหิตจาง (Anemia)** คือ ภาวะที่ร่างกายมีปริมาณฮีโมโกลบิน หรือปริมาณเม็ดเลือดแดงต่ำกว่าปกติ เกิดได้จากสาเหตุต่างๆ เช่น การเสียเลือดทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง การสร้างและการเจริญเติบโตของเม็ดเลือดแดงผิดปกติ ความผิดปกติของไขกระดูก ความผิดปกติทางพันธุกรรม หรือการได้รับยาบางชนิด กรณีต่างๆ ทำให้ขนาดเซลล์และปริมาณฮีโมโกลบินแตกต่างกันออกไป เราจึงใช้ค่าของขนาดเซลล์และปริมาณฮีโมโกลบิน เป็นดัชนีในการแยกชนิดของ anemia

**1. ปริมาตรเฉลี่ยของเซลล์ (mean corpuscular volume, MCV)** เซลล์เม็ดเลือดแดงปกติมีขนาด 75-95 ลบ.ไมครอน เรียก normocytic หากมีขนาดเล็กกว่า 75 ลบ.ไมครอน เรียกว่า microcytic และถ้าใหญ่กว่า 95 ลบ.ไมครอน เรียกว่า macrocytic

**2. ปริมาณเฉลี่ยของ Hb ในเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular hemoglobin)** เม็ดเลือดแดงที่มีความเข้มข้น Hb ปกติ ต่ำกว่าปกติ และสูงกว่าปกติ เรียกว่า normochromic, hypochromic และ hyperchromic ตามลำดับ

Anemia สามารถแบ่งตามลักษณะขนาด และการติดสี ได้ 3 ชนิด คือ

- **Normochromic normocytic anemia** เป็นโลหิตจางชนิดที่การติดสี และมีขนาดปกติ เช่น โลหิตจางจากการเสียเลือด
- **Hypochromic microcytic anemia** เป็นโลหิตจางชนิดที่การติดสีจางและเม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็ก ได้แก่ โลหิตจางจากการขาดเหล็ก
- **Macrocytic anemia** เป็นโลหิตจางชนิดที่เม็ดเลือดแดงมีขนาดใหญ่ ได้แก่ โลหิตจางการขาดวิตามิน $B_{12}$ เป็นต้น

**1.2.2 เม็ดเลือดขาว (Leukocyte หรือ White blood cell, WBC)** มีหน้าที่ป้องกันการรุกรานของแบคทีเรีย เชื้อโรค และสารแปลกปลอมต่างๆ เม็ดเลือดขาวแตกต่างจากเม็ดเลือดแดง คือเม็ดเลือดขาวมีนิวเคลียสแต่ไม่มีฮีโมโกลบิน ในคนปกติพบประมาณ **5,000-10,000 เซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร** แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Granulocyte (ชนิดมีแกรนูล) และ Agranulocyte (ชนิดไม่มีแกรนูล)

**1.2.2.1 Granulocyte** เป็นพวกที่มีแกรนูล (Granule) อยู่ภายใน cytoplasm มี 3 ชนิด

1) **Neutrophil** เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีมากที่สุดประมาณ 60-70% ของเม็ดเลือดขาวทั้งหมด มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-12 ไมโครเมตร มีนิวเคลียส 2-6 กลีบ (Lobe) เชื่อมกันด้วยโครมาตินเส้นบาง ๆ นิวโตรฟิลที่มีอายุมากจะมีจำนวน Lobe เพิ่มขึ้นจนบางครั้งเรียกว่า **Polymorphonuclear leukocyte (PMN)** หรือ **Polymorphs** หน้าที่ของ neutrophil คือทำลายเชื้อแบคทีเรียที่เข้าสู่ร่างกายด้วยวิธี phagocytosis (กิน) โดยนิวโตรฟิล จะเป็นพวกแรกที่ร่างกายใช้ในการกำจัดสิ่งแปลกปลอม ทั้งในกระแสเลือดและในเนื้อเยื่อเพราะมันสามารถแทรกตัวออกจากหลอดเลือดได้ เรียกว่า diapedesis หลังจากออกจากไขกระดูก นิวโตรฟิลจะมีอายุเพียง 3 วัน

2) **Eosinophil** ปกติพบประมาณ 2-4% มีขนาดเล็กกว่านิวโตรฟิลเล็กน้อย นิวเคลียสมีประมาณ 2-3 กลีบ ภายในแกรนูลบรรจุสารที่มีฤทธิ์ต้านฮีสตามีน (histamine) จึงสามารถลดการแพ้หรือการอักเสบจากสารพิษต่าง ๆ ได้ และยังทำลายตัวอ่อนของหนอนพยาธิที่เข้าสู่ร่างกายทางหลอดเลือดหรือผนังท่อทางเดินอาหาร จึงสามารถพบ eosinophil เพิ่มขึ้นได้มากในผู้ที่ป่วยที่มีพยาธิในระบบทางเดินอาหาร หรือโรคหอบหืด

3) **Basophil** ปกติพบประมาณ 0.5-1% มีนิวเคลียส 2 กลีบ ลักษณะของแกรนูล มีขนาดใหญ่กว่าเม็ดเลือดขาวชนิดอื่นจนบดบังทำให้มองเห็นนิวเคลียสได้ไม่ชัด ภายในแกรนูลบรรจุสารพวก histamine, heparin และ slow reaction substance ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแพ้

**1.2.2.2 Agranulocyte** เป็นพวกที่ไม่มีแกรนูล (granule) อยู่ภายใน cytoplasm มี 2 ชนิด

1) **Monocyte** พบประมาณ 3-8% มีนิวเคลียสใหญ่คล้ายรูปไต อยู่ชิดด้านใดด้านหนึ่งของเซลล์โมโนซัยท์สามารถผ่านผนังหลอดเลือดออกไปสู่เนื้อเยื่อ และเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์ macrophage ในเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ เช่น alveolar macrophage ในถุงลม spleen macrophage ในม้าม, Kupffer cell ในตับ และมีชีวิตอยู่ต่อไปได้อีกเป็นปี ดังนั้นหน้าที่ของโมโนซัยท์ จึงเกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันโรคโดยการกินสิ่งแปลกปลอม

**2) Lymphocyte** พบประมาณ 20-25% เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีหลายขนาด ซึ่งนิวเคลียสมีรูปร่างกลมขนาดใหญ่เกือบเต็มเซลล์ ส่วนใหญ่เจริญและแบ่งตัวมาจากต่อมน้ำเหลือง มีส่วนน้อยเท่านั้นที่สร้างมาจากไขกระดูก หน้าที่ของลิมโฟซัยท์เกี่ยวข้องกับการตอบสนองทางปฏิกิริยาในระบบภูมิคุ้มกัน



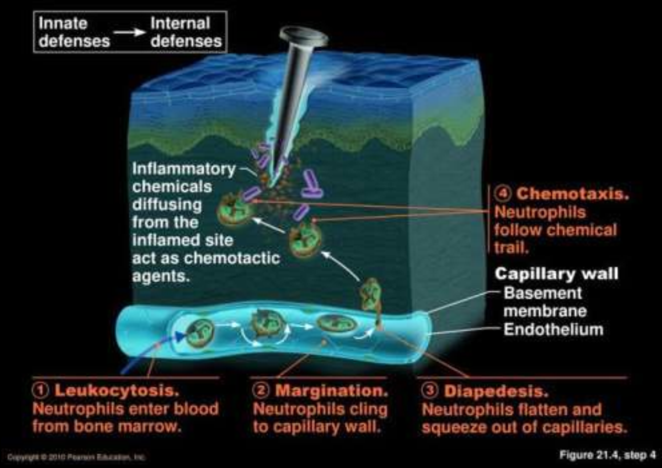

รูปที่ 8-8 แสดงเม็ดเลือดขาวชนิดต่าง ๆ

**คุณลักษณะที่สำคัญของเม็ดเลือดขาว**

**=> Diapedesis** เซลล์เม็ดเลือดขาวสามารถเคลื่อนที่ผ่านผนังหลอดเลือดฝอย สู่เนื้อเยื่อเพื่อไปยังบริเวณที่มีเชื้อโรค

**=> Chemotaxis** สารเคมีที่ปล่อยออกจากเชื้อโรคหรือเซลล์ที่ตายแล้ว จะดึงดูดให้เม็ดเลือดขาวเคลื่อนที่เข้าหา

**=> Phagocytosis** คือ ความสามารถในการที่จะจับกินเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอม โดยการโอบล้อมสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ภายในเซลล์ แล้วทำการย่อยเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมนั้น




รูปที่ 8-9 แสดงคุณสมบัติของเม็ดเลือดขาว

**1.2.3 เกร็ดเลือด (Platelet หรือ Thrombocyte)** เกล็ดเลือดมีขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-4 ไมครอน หนาประมาณ 0.5-1 ไมครอน ไม่มีนิวเคลียส ไม่มีสี ปริมาณเกล็ดเลือดในร่างกายมีค่าประมาณ 150,000-400,000 เซลล์/ลบ.มม. เกล็ดเลือดเจริญจากเซลล์ Megakaryocyte เมื่อเข้าสู่กระแสเลือดมีอายุได้ 5-11 วัน เกร็ดเลือดมีคุณสมบัติพิเศษ คือเมื่อมีสิ่งใดมากระตุ้น เช่น การสัมผัสพื้นผิวที่ไม่เรียบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทำให้

ผิวของเกร็ดเลือดเหนียวขึ้น และจะไปเกาะติดกับผนังของหลอดเลือด และหลั่งสาร ADP, Thromboxane ออกมาจากแกรนูลของมัน ซึ่งสารเหล่านี้จะไปกระตุ้นให้เกร็ดเลือดเกิดการรวมกลุ่มกันเอง (platelet aggregation) จึงอุดรอยเปิดของหลอดเลือด ทำให้เลือดหยุดได้ ดังนั้นเกร็ดเลือดจึงมีหน้าที่สำคัญช่วยใน**การห้ามเลือด (Hemostasis)** เมื่อเกิดบาดแผล

**การห้ามเลือด (Hemostasis)** หมายถึง การป้องกันการเสียเลือดเมื่อเกิดบาดแผล ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่

**1) การหดตัวของหลอดเลือด (Vasoconstriction)** เมื่อเกิดบาดแผล สาร serotonin จากเกร็ดเลือด จะทำให้หลอดเลือดแดงเล็กๆ หดตัว ช่วยลดการสูญเสียเลือด

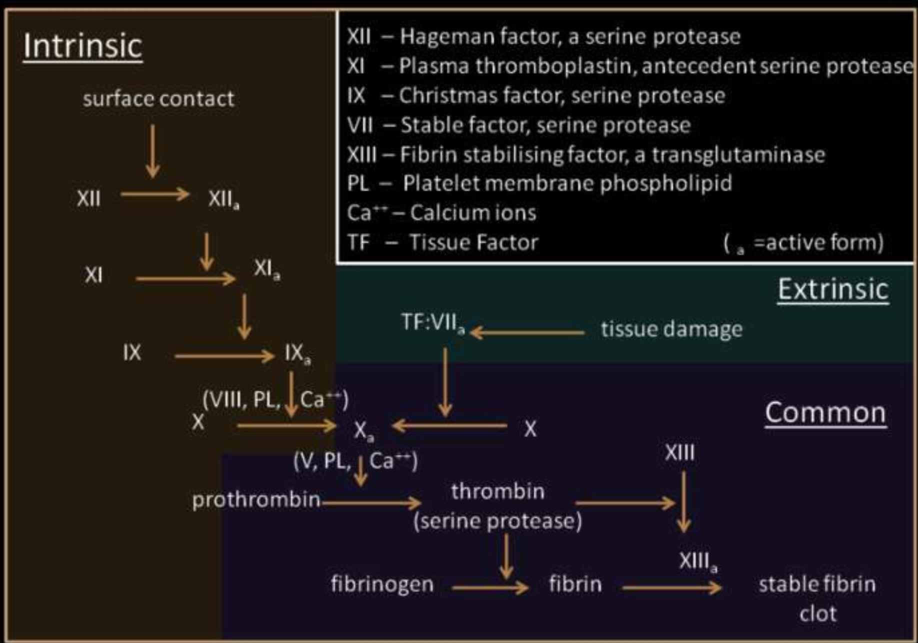
**2) การเกาะกลุ่มของเกร็ดเลือด (Platelet aggregation)** เมื่อเกิดบาดแผล เซลล์ที่ได้รับบาดเจ็บและเกล็ดเลือดบริเวณนั้น จะปล่อยสาร ADP มีผลทำให้เกล็ดเลือดเปลี่ยนรูปร่างจากแผ่นเป็นก้อนและรวมกันอุดหลอดเลือดที่เกิดบาดแผล

**3) การแข็งตัวของเลือด (Coagulation)** เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเกล็ดเลือด สารต่างๆ ในพลาสมา (blood clotting factor) และสารจากเนื้อเยื่อที่บาดเจ็บ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนย่อย คือ

**ขั้นที่ 1 การเกิด Prothrombin converting enzyme** ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของการแข็งตัวของเลือดเกิดขึ้นได้ 2 ทางคือ

**=> Extrinsic pathways** เกิดจากการทำลายเซลล์หลอดเลือดและเนื้อเยื่อข้างเคียง ซึ่งกระตุ้นให้เซลล์เหล่านี้สร้าง Factor III (Tissue thromboplastin) ไปทำปฏิกิริยากับ factor IV, V, VII กลายเป็น prothrombin converting enzyme

**=> Intrinsic pathways** เกิดขึ้นโดยไม่มีการชอกช้ำของเนื้อเยื่อ แต่เกิดโดยการที่ Platelet ไปสัมผัสกับพื้นผิวที่ไม่เรียบ เช่น คอลลาเจนที่อยู่ใต้ชั้นเซลล์บุผิว (endothelium cell) ของหลอดเลือด แล้วส่งผลให้มีการกระตุ้นปัจจัยต่าง ๆ จนกลายเป็น prothrombin converting enzyme




รูปที่ 8-10 แสดงกลไกการแข็งตัวของเลือด (Coagulation)

**ขั้นที่ 2 การเปลี่ยน Prothrombin เป็น Thrombin** โดยที่ prothrombin converting enzyme และ blood clotting factor ไปเปลี่ยน prothrombin ซึ่งเป็นพลาสมาโปรตีนที่สร้างจากตับ ไปเป็น thrombin

**ขั้นที่ 3 การเปลี่ยน Fibrinogen เป็น Fibrin โดย** thrombin จากนั้นไฟบรินจะสานกันเป็นร่างแห โดยอาศัยแคลเซี่ยม และ factor XIII ทำให้เกิดลิ่มเลือด และลิ่มเลือดจะรัดตัวกันแน่น (clot retraction) บีบส่วนที่เป็นของเหลวคล้ายพลาสมาออกมา เชื่อว่า clot retraction จะช่วยดึงบาดแผลให้ประสานกัน

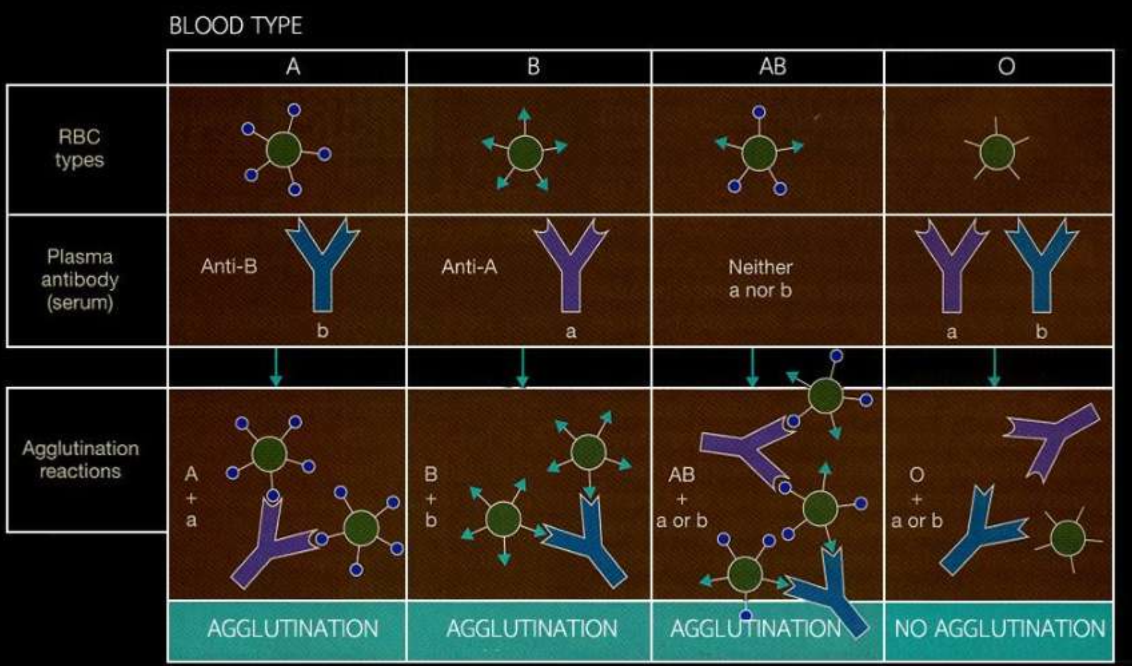
## 1.3 หมู่เลือด (Blood group)

ที่ผิวของเม็ดเลือดแดงจะมีสารชนิดหนึ่งเรียกว่า antigen (agglutinogen) เกาะอยู่ ซึ่งเราใช้เป็นตัวกำหนดกรุ๊ปเลือด โดยในปัจจุบันระบบการจัดแบ่งกรุ๊ปเลือดที่นิยมใช้มี 2 ระบบใหญ่ ๆ และระบุกรุ๊ปทั้ง 2 ระบบ ควบคู่กันไป คือ ระบบ ABO Group และระบบ Rh Group

**ABO Group** แบ่งออกเป็น 4 กรุ๊ป ตามชนิดของ antigen ซึ่งพบที่ผิวของเม็ดเลือดแดง คือ

1. กรุ๊ป A คือ บุคคลที่มี antigen (agglutinogen) ชนิด A ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง
2. กรุ๊ป B คือ บุคคลที่มี antigen (agglutinogen) ชนิด B ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง
3. กรุ๊ป AB คือ บุคคลที่มี antigen (agglutinogen) ทั้งชนิด A และ B ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง
4. กรุ๊ป O คือ บุคคลที่ไม่มี antigen (agglutinogen) ชนิด A และ B ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง

โดยธรรมชาติในพลาสมาของบุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป A ร่างกายจะสร้างสาร antibody (agglutinin) ขึ้นมาต่อต้าน antigen ชนิด B (ซึ่งพบที่ผิวของเม็ดเลือดแดง ทั้งกรุ๊ป B และ กรุ๊ป AB) เรียกสารนี้ว่า Anti-B antibody (agglutinin B)




รูปที่ 8-11 แสดง antigen บนผิวของเม็ดเลือดแดง และ antibody ในพลาสมา ของระบบ ABO Group

บุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป B ในพลาสมาก็จะมี antibody ชนิด Anti-A antibody เพื่อต่อต้าน antigen ชนิด A เช่นกัน แต่ในบุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป AB ในพลาสมาจะไม่พบ antibody ทั้งชนิด Anti-A antibody และ Anti-B antibody เมื่อเม็ดเลือดแดงของกรุ๊ป A เข้าไปอยู่ในพลาสมาที่มีสาร antibody ชนิด Anti-A antibody เช่น นำเลือดกรุ๊ป A ไปให้บุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป B จะทำให้เม็ดเลือดแดงเกิดการเกาะกลุ่มจับตัวกันและตกตะกอนและเม็ดเลือดแดงเกิดการแตกตัว (hemolysis) ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่า agglutination การจับกลุ่มกันมักเกิดขึ้นในหลอดเลือดเล็ก ๆ ของไต ซึ่งจะทำหลอดเลือดในไตอุดตันส่งผลให้ไตหยุดทำงาน และไตวายได้ในที่สุด ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมากที่บุคคลซึ่งมีเลือดกรุ๊ป B ไม่สามารถที่จะรับเลือดของบุคคลกรุ๊ป A ได้ ส่วนบุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป A ก็ไม่สามารถรับเลือดกรุ๊ป B ได้เช่นกัน

สำหรับบุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป O ซึ่งในพลาสมาจะมี antibody ทั้งชนิด Anti-A antibody และ Anti-B antibody จะไม่สามารถรับเลือดกรุ๊ป A , B หรือ AB ได้เลย เพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาจากการให้เลือดผิดหมู่ดังกล่าวแล้วข้างต้นได้ ซึ่งจะต้องได้รับเลือดจากกรุ๊ป O เท่านั้น

ดังนั้น การถ่ายเลือดต้องกระทำภายใต้พื้นฐานว่าผู้ที่ได้รับเลือดจะต้องได้รับเลือดกรุ๊ปเดียวกับตนเองเท่านั้น นอกจากกรุ๊ปนั้นไม่มีจริง ๆ จึงจะพิจารณาให้เลือดกรุ๊ป O แทน (เพราะที่ผิวของเม็ดเลือดแดงกรุ๊ป O ไม่มี antigen ทั้งชนิด A หรือ B)

**Rh Group** กรุ๊ปเลือดระบบนี้ มีชื่อเช่นนี้ เพราะว่าการค้นพบครั้งแรกมีการทดลองในเลือดลิงชนิด Rhesus (Rhesus monkey) โดยแบ่งออกเป็น 2 กรุ๊ป เท่านั้น ตามการพบ หรือไม่พบสาร antigen ชนิด D ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง คือ

**1. $Rh^+$ (Positive)** คือ บุคคลที่มี antigen (agglutinogen) ชนิด D ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง

**2. $Rh^-$ (Negative)** คือ บุคคลที่ไม่มี antigen ชนิด D ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง

โดยปกติแล้ว ในพลาสมาของบุคคลที่มีเลือดกรุ๊ป $Rh^-$ (Negative) จะยังไม่มีสาร antibody ชนิด Anti-D antibody อยู่ก่อน แต่ Anti-D antibody จะเกิดขึ้นภายหลัง ถ้าหากว่าบุคคลผู้นั้น ได้รับเลือดกรุ๊ป $Rh^+$ (Positive) เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งแม้เพียงครั้งเดียวที่ได้รับเลือดกรุ๊ปดังกล่าว ร่างกายก็จะสร้าง Anti-D antibody ขึ้นมา และ Anti-D antibody ที่เกิดขึ้นมานี้ จะคงอยู่ในร่างกายตลอดชีวิต ซึ่งจะทำให้บุคคลผู้นั้นไม่สามารถรับเลือด กรุ๊ป $Rh^+$ (Positive) ได้อีก จะรับได้เฉพาะเลือดกรุ๊ป $Rh^-$ (Negative) เท่านั้น

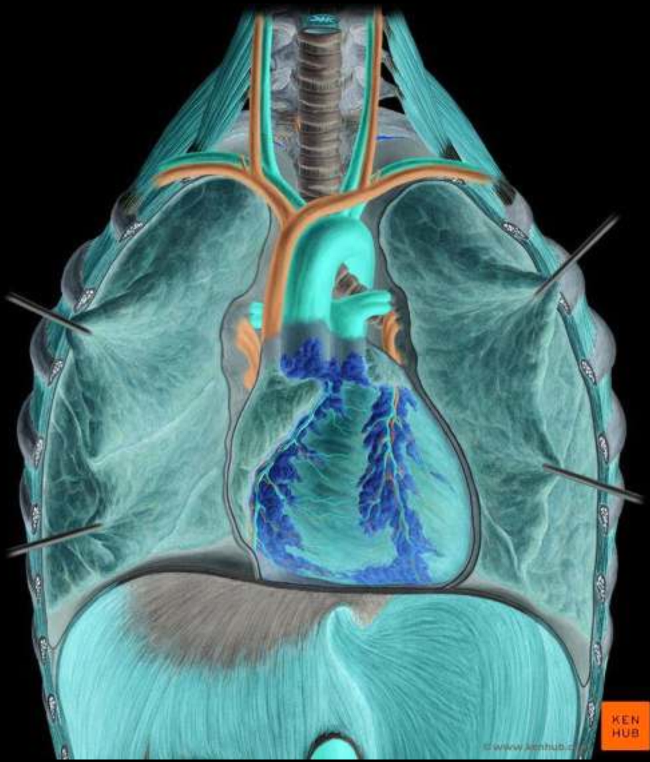
******************************************

## ตอนที่ 2
## หัวใจ (The Heart)

เซลล์จะมีชีวิตและสามารถทำงานได้ปกติเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีปริมาณของสารต่างๆ ที่อยู่รอบเซลล์รวมทั้งอุณหภูมิที่เหมาะสม เนื่องจากเซลล์ใช้และขับสารต่างๆ ตลอดเวลา การจะคงสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อเซลล์ดังกล่าวได้ ต้องอาศัยการไหลเวียนของเลือดผ่านเซลล์ตลอดเวลา เพื่อนำอาหาร ออกซิเจน และสิ่งจำเป็นสำหรับเซลล์ พร้อมกับนำสารที่เซลล์ขับออกหรือเกินความต้องการออกไปกับกระแสเลือด ด้วยเหตุนี้ระบบไหลเวียนเลือดจึงมีความจำเป็นต่อชีวิตและการทำงานของร่างกาย การไหลเวียนของเลือดเกิดจะขึ้นได้ ต้องอาศัยการทำงานของหัวใจบีบตัวดันเลือดให้ไหลไปตามหลอดเลือดซึ่งแยกแขนงไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย

### 2.1 โครงสร้างและหน้าที่ของหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะกล้ามเนื้อกลวง ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดไปตามหลอดเลือด หัวใจจะบีบตัวประมาณ 75 ครั้ง/นาที เลือดจะไหลผ่านไปตามแขนงของหลอดเลือดแดง (artery) ผ่านไปตามหลอดเลือดแดงที่มีขนาดเล็กลง (arteriole) ไปจนถึงหลอดเลือดฝอย (capillary) ไปเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อ ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ ของเสียจากเซลล์และเนื้อเยื่อ จะกลับเข้าสู่หลอดเลือด ไหลกลับไปตามสาขาของหลอดเลือดดำ ซึ่งจะนำกลับเข้าสู่หัวใจ ขณะที่เลือดไหลเวียนอยู่นี้ อวัยวะต่างๆ ของร่างกายจะรับวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในการซ่อมแซมเพื่อการเจริญเติบโต และเพื่อการทำงานของอวัยวะนั้นไปจากเลือด เช่น สมองต้องการออกซิเจนและกลูโคส การหดตัวของกล้ามเนื้อ การทำงานเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้เพราะหัวใจสูบฉีดเลือดอยู่ตลอดเวลา

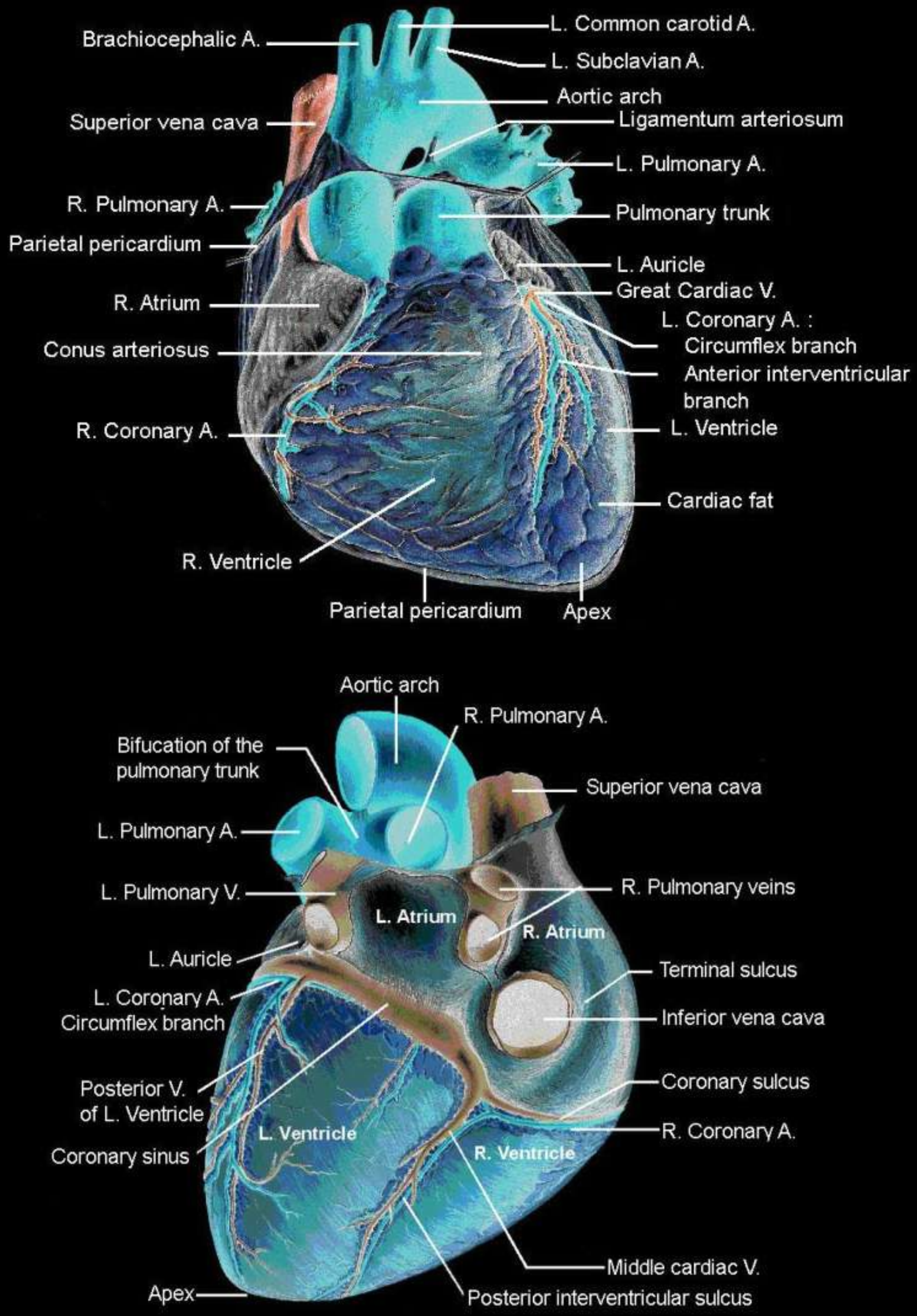



รูปที่ 8-12 แสดงตำแหน่งของหัวใจและอวัยวะที่เกี่ยวข้อง

### 2.1.1 ขนาดและตำแหน่งของหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ ภายในกลวง มีขนาดโตกว่ากำมือเจ้าของเล็กน้อย หัวใจวางอยู่เหนือกระบังลม ภายในช่องเนื้อกลางอก ซึ่งอยู่ระหว่างปอดทั้งสองข้าง ประมาณ 2 ใน 3 ของหัวใจจะเอียงไปทางด้านซ้ายของแนวกลางตัวของร่างกาย

ในผู้ใหญ่ หัวใจมีขนาดกว้างประมาณ 9 ซม. ยาวประมาณ 12 ซม. หนาประมาณ 6 ซม. ส่วนยอด (apex) อยู่ทางด้านล่างค่อนไปทางซ้าย ส่วนฐาน (base) กว้างกว่า อยู่ด้านบนค่อนไปทางขวา




รูปที่ 8-13 แสดงกายวิภาคของหัวใจทางด้านหน้า (บน) และด้านหลัง (ล่าง) A=Artery, V=Vein, R=Right, L=Left

**2.1.2 เยื่อหุ้มหัวใจ (Pericardium)** หัวใจถูกหุ้มด้วยเยื่อหุ้มหัวใจ เรียกว่า Pericardium มี 2 ชั้น ได้แก่

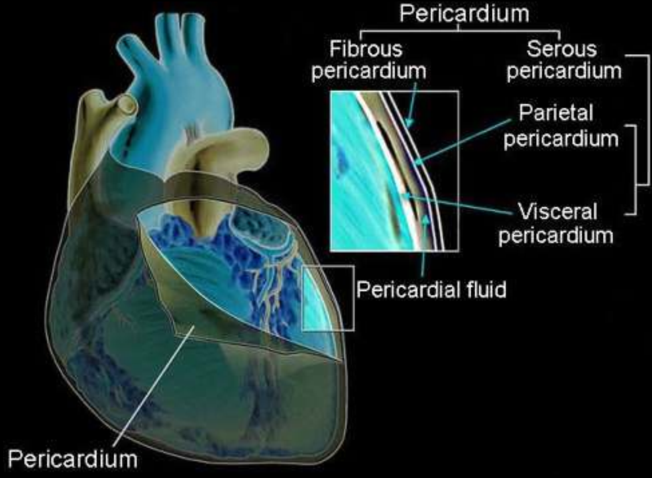
**1) Fibrous pericardium** มีลักษณะหยาบ เหนียว คล้ายกับถุงซึ่งใส่หัวใจไว้ภายใน ทางด้านล่างยึดติดกับกระบังลมและต่อเนื่องไปกับผนังชั้นนอกของหลอดเลือดที่เข้าและออกจากหัวใจ ซึ่ง Fibrous pericardium จะมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้หัวใจถูกยืดขยายมากเกินไป ปกป้องหัวใจและยึดหัวใจให้อยู่ภายใน Mediastinum cavity

**2) Serous pericardium** มีลักษณะบางและลื่นกว่า แยกออกเป็น 2 ชั้นย่อย ได้แก่

=> **ชั้นนอก เรียกว่า Parietal layer** ซึ่งจะอยู่แนบชิดติดกับ Fibrous pericardium

=> **ชั้นใน เรียกว่า Visceral layer** จะคลุมติดกับผิวทางด้านนอกของหัวใจ ซึ่งอาจจะถือว่าเป็นผนังหัวใจชั้นในสุดที่เรียกว่า **Epicardium** ก็ได้

ระหว่างเยื่อหุ้มหัวใจชั้น Parietal layer กับ Visceral layer จะมีช่องว่างเรียกว่า **Pericardial cavity** ซึ่งภายในจะมีของเหลวเรียกว่า Pericardial fluid อยู่จำนวนเล็กน้อย เพื่อหล่อลื่นขณะหัวใจบีบตัว



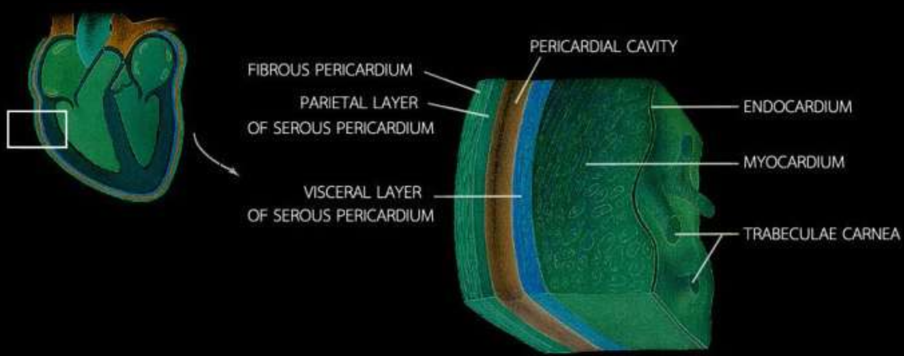

รูปที่ 8-14 แสดงเยื่อหุ้มหัวใจ

**2.1.3 ผนังหัวใจ (Heart wall)** ประกอบไปด้วย 3 ชั้น คือ

=> **Epicardium** อยู่ด้านนอกสุด ประกอบด้วยชั้นบางใสของ mesothelium และไขมันที่หุ้มหลอดเลือด

=> **Myocardium** เป็นผนังชั้นกล้ามเนื้อหัวใจ อยู่ตรงกลาง ประกอบไปด้วยเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เรียงตัวสานกันจนหนา ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

=> **Endocardium** เป็นผนังหัวใจชั้นในสุด ประกอบด้วยเซลล์ endothelium บุติดต่อไปโดยตลอดกับเยื่อบุผิวภายในหลอดเลือดที่เข้าและออกจากหัวใจ



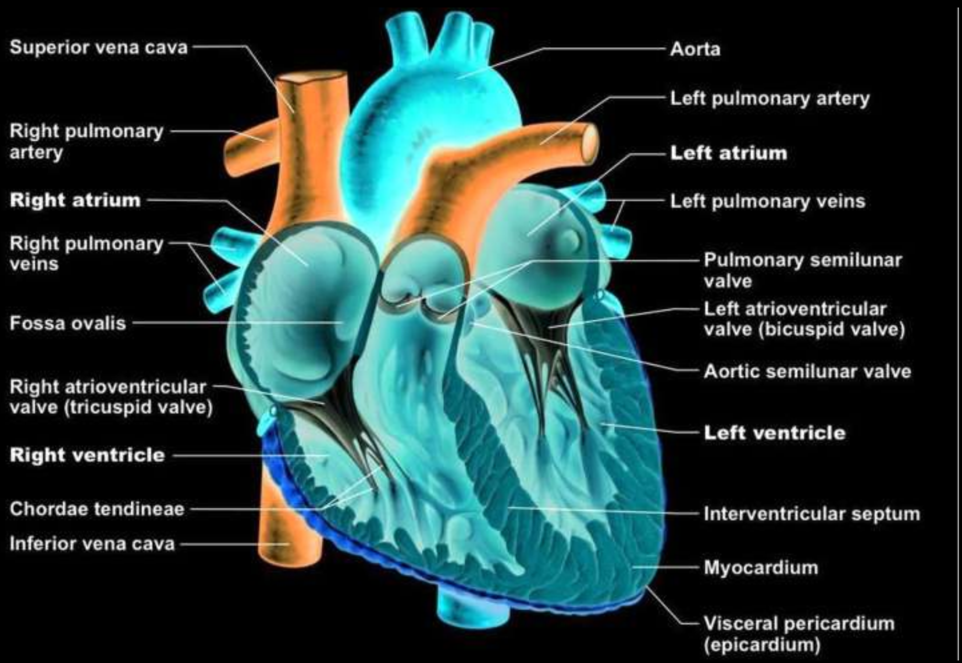

รูปที่ 8-15 แสดงเยื่อหุ้มหัวใจ และผนังหัวใจ

### 2.1.4 ห้องหัวใจ (Chamber of the heart)

ภายในหัวใจแบ่งออกเป็น 4 ห้อง (Chamber) 2 ห้องบน เรียกว่า **Right atrium** (ห้องบนขวา) และ **Left atrium** (ห้องบนซ้าย) ส่วน 2 ห้องล่าง เรียกว่า **Right ventricle** (ห้องล่างขวา) และ **Left ventricle** (ห้องล่างซ้าย)

ผนังที่กั้นแบ่ง Atrium ออกเป็นห้องบนซ้าย - ห้องบนขวา เรียกว่า **Interatrial septum** ซึ่งจะพบรอยหวำรูปไข่เรียกว่า Fossa ovalis อยู่ที่ผนังทางด้านขวาด้วย ส่วนผนังที่กั้น Ventricle ออกเป็นห้องล่างซ้าย-ห้องล่างขวา เรียกว่า **Interventricular septum**

**1) Right atrium (ห้องบนขวา)** มีขนาดใหญ่กว่า Left atrium ผนังบางกว่า มีส่วนยื่นเล็กๆ ออกไปทางด้านหน้าคล้ายใบหูสุนัข เรียกว่า Auricle มีหลอดเลือดดำใหญ่มาเปิดเพื่อนำเลือดดำจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเข้าสู่ Right atrium 2 เส้น คือ **Superior vena cava** และ **Inferior vena cava** นอกจากนั้นมีหลอดเลือดดำ ที่นำเลือดมาจากหัวใจมาเทเข้า เรียกว่า **Coronary sinus** จาก Right atrium จะมีการติดต่อกับ Right ventricle โดยมีลิ้นหัวใจกั้นอยู่ เรียกว่า Right atrioventricular valve (Tricuspid valve)




รูปที่ 8-16 แสดงโครงสร้างในหัวใจห้องต่าง ๆ

**2) Right ventricle (ห้องล่างขวา)** เป็นส่วนที่อยู่ล่างต่อ Right atrium จะมีหลอดเลือด Pulmonary artery ต่อออกไปจาก Right ventricle โดยมีลิ้นหัวใจชื่อ Pulmonary semilunar valve กั้นไม่ให้เลือดที่บีบออกจาก Right ventricle ไหลย้อนกลับ ผนังของ Right ventricle จะหนากว่าผนังของ Right atrium มาก แต่จะบางกว่าผนังของ Left ventricle ประมาณ 1/3 เท่า ผนังด้านในจะเห็นกล้ามเนื้อมีลักษณะเป็นแท่งประสานกัน แยกเป็น 2 ชนิด คือ Trabeculae carneae มีลักษณะเป็นเส้นนูน อยู่ที่ผนังของ ventricle อีกชนิดคือ papillary muscle จะมีปลายอีกข้างหนึ่งติดกับผนัง อีกปลายหนึ่งจะมีเส้นเอ็นเล็กๆ เรียกว่า chordae tendineae ติดอยู่ chordae tendineae มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย ปลายหนึ่งติดที่ papillary muscle อีกปลายหนึ่งติดกับขอบลิ้นของหัวใจและช่วยกันไม่ให้ลิ้นหัวใจ tricuspid ถูกดันไปทาง right atrium

**3) Left atrium (ห้องบนซ้าย)** มีผนังหนากว่า Right atrium รับเลือดที่กลังจากปอดโดยมีหลอดเลือด Pulmonary veins จำนวน 4 เส้น มาเปิดเข้าทางด้านหลัง เพื่อนำเลือดจากปอดกลับสู่หัวใจ ด้านล่างมีทางติดต่อกับ Left ventricle โดยมีลิ้นหัวใจชื่อ left atrioventricular valve (Bicuspid, Mitral valve) กั้นอยู่

**4) Left ventricle (ห้องล่างซ้าย)** ผนังหนามากที่สุด และทางด้านในจะมีกล้ามเนื้อเรียงตัวเหมือนใน right ventricle ส่วนล่างสุดจะตรงกับ apex ของหัวใจ จาก Left ventricle จะมีหลอดเลือดแดง Aorta ซึ่งเป็นหลอดเลือดแดงใหญ่ที่สุด ต่อออกไปเพื่อนำเลือดออกไปจากหัวใจไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยมีลิ้นหัวใจชื่อ Aortic semilunar valve กั้นอยู่ เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของเลือดจาก Aorta กลับสู่ Left ventricle ในขณะที่หัวใจคลายตัว

### 2.1.5 ลิ้นหัวใจ (Valves of the heart)

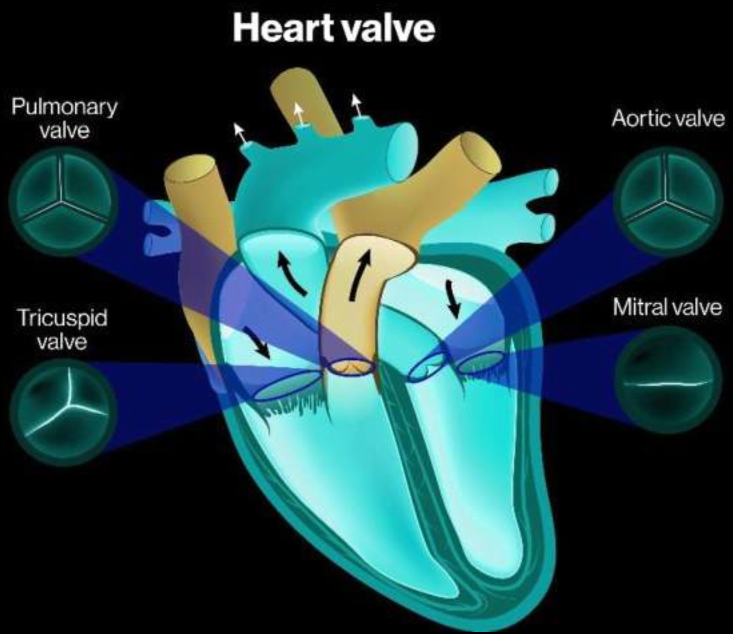
ลิ้นหัวใจ ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางไหลของเลือด ให้ไหลผ่านหัวใจไปในทิศทางเดียว คือจากด้านหลอดเลือดดำไปยังหลอดเลือดแดง ลิ้นหัวใจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

**1) Atrioventricular valves (AV valve)** เป็นลิ้นที่กั้นอยู่ระหว่าง Atrium กับ Ventricle มี 2 ลิ้น คือ

- **Tricuspid valve** ลิ้นมีลักษณะเป็น 3 แฉก กั้นอยู่ระหว่าง Right atrium และ Right ventricle
- **Bicuspid (Mitral) valve** ลิ้นมีลักษณะเป็น 2 แฉก กั้นอยู่ระหว่าง Left atrium และ Left ventricle

**2) Semilunar valves** เป็นลิ้นที่กั้นระหว่างหัวใจและของหลอดเลือดแดงที่ต่อกับหัวใจ ซึ่งจะยอมให้เลือดผ่านออกจากหัวใจไปสู่หลอดเลือดแดงได้ แต่จะไม่ยอมให้เลือดจากหลอดเลือดแดงไหลย้อนกลับเข้าสู่หัวใจในขณะที่ Ventricle คลายตัว มี 2 ลิ้น คือ

- **Pulmonary semilunar valve** กั้นระหว่างหลอดเลือดแดง Pulmonary trunk กับ Right ventricle
- **Aortic semilunar valve** กั้นระหว่างหลอดเลือดแดง Aorta กับ Left ventricle

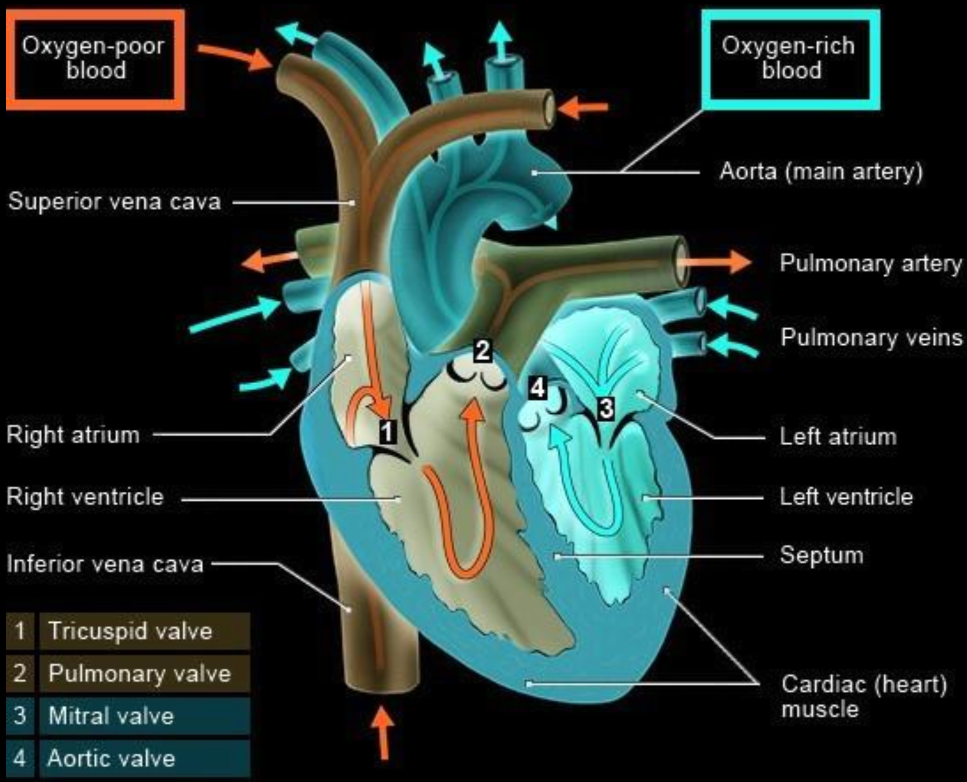



รูปที่ 8-17 แสดงลักษณะของลิ้นหัวใจ (Valves of the heart)

**2.1.6 การไหลเวียนเลือดผ่านหัวใจ**

Right atrium จะรับเลือดดำ (deoxygenated blood) จากส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และต่อมาจะไหลลงสู่ Right ventricle จากนั้น Right ventricle จะบีบตัวเพื่อดันเลือดเข้าสู่หลอดเลือดแดง pulmonary artery เพื่อนำเลือดไปยังปอดแต่ละข้าง และเมื่อเลือดผ่านหลอดเลือดฝอยของปอด (pulmonary capillary) จะมีการปล่อย $CO_2$ ออกไปและรับเอา $O_2$ เข้ามา ซึ่งเลือดในขณะนี้ เรียกว่า **oxygenated blood** จะกลับเข้าสู่หัวใจทาง Left atrium ทางหลอดเลือดดำ pulmonary veins จากนั้นเลือดจาก Left atrium จะไหลลงสู่ Left ventricle และต่อมา Left ventricle จะบีบตัวเพื่อดันเลือดออกสู่ ascending aorta (aorta ขาขึ้น) arch of aorta (aorta ส่วนโค้ง) และ descending aorta (aorta ขาลง) ตามลำดับเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และเมื่อเลือดที่ไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายสูญเสีย $O_2$ และรับเอา $CO_2$ เข้ามา เรียกเลือดในขณะนี้ว่า **deoxygenated blood** ซึ่งจะกลับเข้าสู่หัวใจ Right atrium ทางหลอดเลือดดำ 3 เส้น คือ

- **Superior vena cava (SVC) :** นำเลือดดำจากส่วนบนของร่างกายกลับสู่ Right atrium
- **Inferior vena cava (IVC) :** นำเลือดดำจากส่วนล่างของร่างกายกลับสู่ Right atrium
- **Coronary sinus :** นำเลือดที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อผนังหัวใจเองกลับเข้า Right atrium



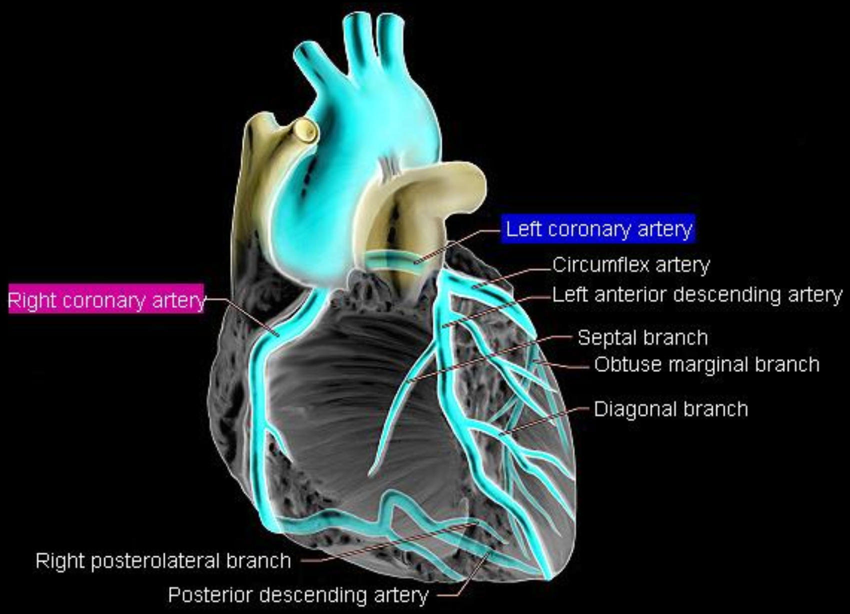

รูปที่ 8-18 แสดงลิ้น (Valves) ของหัวใจ และการไหลเวียนเลือดผ่านหัวใจ

**2.1.7 หลอดเลือดของหัวใจ**

ผนังของหัวใจจะมีหลอดเลือดเป็นของตนเองมาเลี้ยง เพราะสารอาหารและ $O_2$ ไม่สามารถจะแพร่ผ่านจากภายในห้องหัวใจออกมาสู่ผนังหัวใจ ซึ่งประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เรียงซ้อนกันหลาย ๆ ชั้นได้ โดยหลอดเลือดแดงที่มาเลี้ยงผนังกล้ามเนื้อหัวใจ เรียกว่า **coronary arteries** ซึ่งแตกแขนงออกมาจากหลอดเลือด ascending aorta จำนวน 2 เส้น คือ

1) **Left coronary artery** ซึ่งจะผ่านมาทางด้านล่างของ left auricle แล้วแตกออกเป็น 2 แขนง
- Anterior interventricular branch ไปเลี้ยงผนัง ventricle ทั้งซ้าย-ขวา และ Interventricular septum
- Circumflex branch ไปเลี้ยงผนัง left ventricle และ left atrium

2) **Right coronary artery** จะผ่านมาทางด้านล่างของ right auricle และแตกออกเป็น 2 แขนงคือ
- Marginal branch ไปเลี้ยง right ventricle
- Posterior interventricular branch ไปเลี้ยง right และ left ventricle




รูปที่ 8-19 แสดงหลอดเลือดแดงที่มาเลี้ยงหัวใจ

เลือดแดงจาก coronary arteries ที่ไปเลี้ยงผนังกล้ามเนื้อหัวใจหลังจากนำอาหารและ $O_2$ ไปส่งให้และรับเอา $CO_2$ มาแทน ซึ่งจะกลับเข้าสู่ Right atrium ทางหลอดเลือดดำ coronary sinus ที่รับเลือดดำจากแขนงต่าง ๆ อีกต่อหนึ่ง คือ

- Great cardiac vein รับเลือดดำจากผนังหัวใจทางด้านหน้า ไปเทเข้า coronary sinus
- Middle cardiac vein รับเลือดดำจากผนังหัวใจทางด้านหลัง ไปเทเข้า coronary sinus

### 2.1.8 เส้นประสาทที่มาเลี้ยงหัวใจ (Nerve supply)

ถึงแม้ว่าหัวใจสามารถเต้นได้เองโดยอัตโนมัติ แต่อัตราการเต้นและความแรงจะถูกปรับแต่งโดยระบบประสาทอัตโนมัติ คือ

=> Sympathetic nerve : ทำให้หัวใจเต้นเร็วและแรงขึ้น

=> Parasympathetic nerve (Vagus nerve) : ทำให้หัวใจเต้นช้าและเบาลง

### 2.1.9 คุณสมบัติของกล้ามเนื้อหัวใจ

คุณสมบัติของกล้ามเนื้อหัวใจ มีดังนี้

=> Excitability : สามารถตื่นตัวได้เมื่อถูกกระตุ้น

=> Contractility : สามารถหดตัวได้

=> Conductivity : สามารถนำสื่อไฟฟ้าได้

=> Rhythmicity : สามารถหดตัวได้เป็นจังหวะสม่ำเสมอ

=> Automaticity : สามารถหดตัวได้โดยอัตโนมัติ

## 2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวใจ

กล้ามเนื้อหัวใจมีคุณสมบัติที่สำคัญมี 3 ประการ คือ 1) หัวใจสามารถสร้างคลื่นไฟฟ้ากระตุ้นหัวใจเอง โดยอัตโนมัติ 2) คลื่นไฟฟ้า (action potential) ที่เกิดขึ้นที่เซลล์หนึ่งสามารถไปกระตุ้นเซลล์อื่นต่อไปได้โดยตรง และ 3) action potential แต่ละคลื่นของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีระยะเวลายาวนาน ทำให้กล้ามเนื้อหัวใจไม่หดตัวแบบ เป็นตะคริว (tetanus) เมื่อถูกกระตุ้นซ้ำๆ กัน

### 2.2.1 เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

คุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ เหล่านี้ทำให้การบีบตัว (systole) และคลายตัว (diastole) ของหัวใจเกิดขึ้นเป็นจังหวะสลับกันไปอย่างต่อเนื่อง หัวใจมีคุณสมบัตินี้ได้เนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจ ประกอบด้วยเซลล์สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่

**1) Cardiac muscle fibers (cells)** ประกอบขึ้นเป็นผนังของ atria และ ventricles หดตัวเมื่อถูกกระตุ้น เนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าระหว่างเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีค่าต่ำ การนำไฟฟ้าจึงแพร่ไปได้อย่างรวดเร็วระหว่างเซลล์หนึ่งไปสู่เซลล์ที่อยู่ติดๆกันต่อๆไป มีผลให้การหดตัวของเซลล์เหล่านี้เกิดขึ้นพร้อมกันดุจเป็นเซลล์ๆ เดียว เรียกคุณสมบัตินี้ว่า **syncytium**

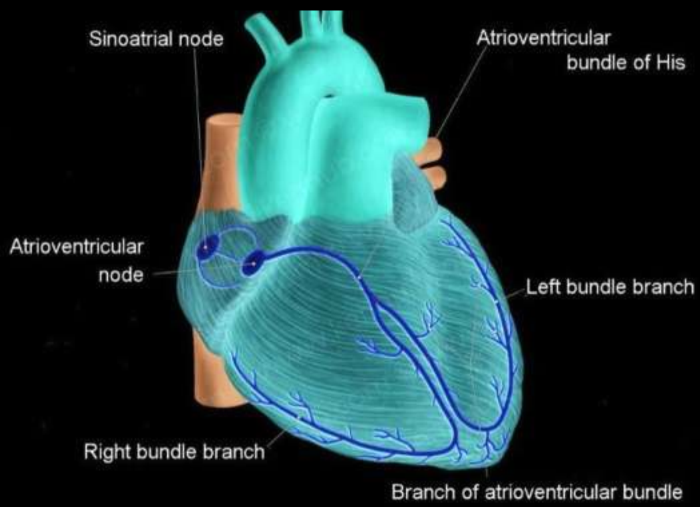
**2) Nodal cells (Pacemaker) cells** เป็นเซลล์กลุ่มพิเศษที่สามารถสร้างคลื่นไฟฟ้าได้โดยอัตโนมัติพบที่

=> Sinoatrial node (SA node) ซึ่งอยู่บริเวณ atrium ขวาใกล้กับ superior vena cava และ

=> Atrioventricular node (AV node) อยู่บริเวณใกล้ผนังกั้นระหว่าง atrium ทั้งสอง และอยู่ตรงบริเวณรอยต่อระหว่าง atria และ ventricles

โดยปกติ SA node เป็นตัวสร้างคลื่นไฟฟ้าซึ่งจะส่งต่อไปยังเซลล์อื่นๆ รวมทั้ง AV node

**3) Conducting cells** เป็นกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่นำคลื่นไฟฟ้าในหัวใจ คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่เกิดใน atrium เมื่อมาถึง AV node จะถูกส่งต่อไปยัง ventricle โดยผ่าน Atrioventricular bundle (AV bundle, bundle of His) จากนั้นแตกแขนงซ้าย-ขวา (bundle branch) ลงสู่ผนังที่กั้นระหว่าง ventricle แล้วแตกแขนงเป็นร่างแห เรียกว่า Purkinje fiber นำไฟฟ้าเข้าสู่กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของ ventricle




ลำดับตำแหน่งต่างๆ ของหัวใจที่ถูกกระตุ้น

↓

Sinus node

↓

Atria

↓

Atrioventricular node

↓

His-Purkinje system

รูปที่ 8-20 แสดงกลุ่มเซลล์ของกล้ามเนื้อหัวใจ และลำดับตำแหน่งต่างๆ ของหัวใจที่ถูกกระตุ้น

### 2.2.2 ลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมี Resting membrane potential (ศักย์ไฟฟ้าขณะพัก) ประมาณ -90 มิลลิโวทย์ (mV.) โดยมีด้านภายในเซลล์มีค่าเป็นลบ เมื่อเปรียบเทียบกับด้านนอกเซลล์ เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นจะเกิดลำดับขั้นตอนดังนี้

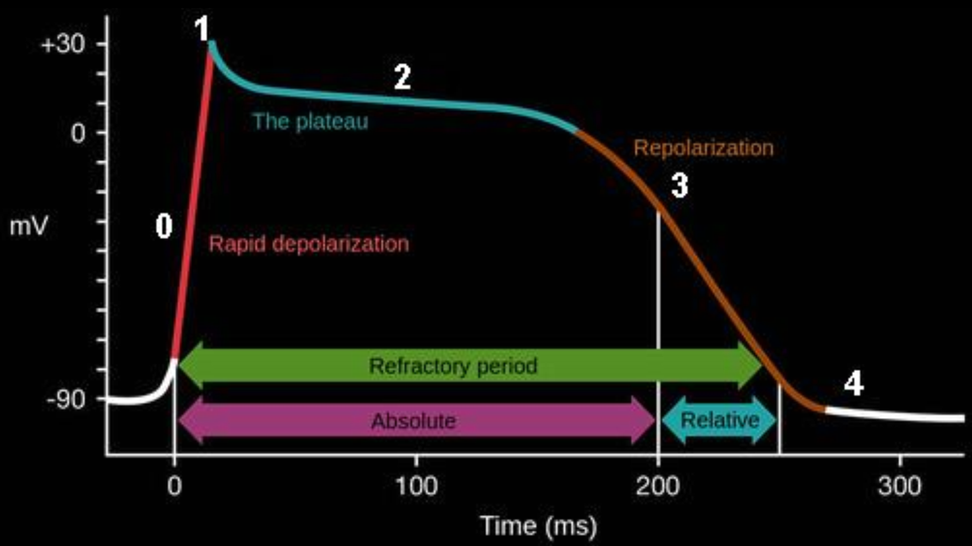
**Phase 0 (Depolarization)** เมื่อเยื่อเซลล์ถูกเร้า ทำให้ศักดิ์ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง (เป็นลบน้อยลง) อย่างรวดเร็ว กระทั่งถึงระดับ threshold (ประมาณ -65 mV) จะเกิด action potential ในทันที ซึ่งเป็นผลจากการที่ผนังเซลล์ยอมให้มีการผ่าน (permeability) ของโซเดียมอย่างรวดเร็ว ทำให้โซเดียมกรูเข้าเซลล์โดยผ่านช่องทางของโซเดียม (fast $Na^+$ channel) ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์อาจสูงขึ้นไปถึง +20 ถึง +40 mV คือมี overshoot การเกิด depolarization ซึ่งรวม overshoot นี้เรียกว่า phase O

**Phase 1 (Rapid repolarization)** เยื่อเซลล์จะเริ่มกลับสู่สภาวะเดิม โดยยอมให้โซเดียมผ่านได้น้อย เรียก ว่า $Na^+$ inactivation ในเวลาใกล้เคียงกันนั้นเยื่อเซลล์ยอมให้โปตัสเซี่ยมสูงขึ้น ทำให้โปตัสเซี่ยมภายในเซลล์เคลื่อนออกสู่ภายนอก การเปลี่ยนแปลงนี้มีผลทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์กลับลดลง (repolarization) เล็กน้อยแต่ ค่อนข้างรวดเร็ว

**Phase 2 (Plateau)** หลังจาก phase 1 การเกิด repolarization จะดำเนินต่อไปค่อนข้างช้ามาก ทำให้มีช่วง repolarization ยาวนานจนเป็นลักษณะแบนราบ (plateau) ทั้งนี้เกิดจากเยื่อเซลล์ยอมให้แคลเซี่ยมไหลผ่านเข้าเซลล์อย่างช้าๆ ทางช่องทางของ $Ca^{++}$ (slow $Ca^{++}$ channel) ขณะที่เยื่อเซลล์ยอมให้โปตัสเซี่ยมผ่านได้ลดลง (ช่วงนี้การผ่านเยื่อเซลล์ของโซเดียมไม่เปลี่ยนแปลง หรืออาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย) ผลลัพธ์คือ ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จึงเห็นเป็นพื้นราบหรือ Plateau curve

**Phase 3 (Repolarization)** เป็นระยะที่แคลเซี่ยมหยุดเข้าเซลล์และมีการไหลออกของโปตัสเซี่ยมออกนอกเซลล์ ทำให้เกิด repolarization อย่างรวดเร็ว

**Phase 4 (Recovery)** หรือ resting potential เป็นระยะกลับคืนสู่ปกติของไอออนซึ่งเป็นระยะ repolarization อย่างสมบูรณ์ โดยภายในเซลล์จะมีค่าเป็นลบเหมือนเดิม




รูปที่ 8-21 แสดง phase ของ Action potential ของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ และระยะพักของหัวใจ

### 2.2.3 การนำไฟฟ้าหัวใจ

Depolarization ซึ่งเกิดขึ้นที่ SA node จะกระตุ้น เซลล์อื่นๆ ที่อยู่ข้างเคียงมีผลให้เกิดคลื่นไฟฟ้าแผ่ไปทั่ว atria จาก atria คลื่นไฟฟ้าจะวิ่งผ่าน AV node ซึ่ง ณ บริเวณนี้ความเร็วการนำไฟฟ้าจะช้าลง จากนั้นคลื่นไฟฟ้าจะวิ่งต่อไป ผ่าน bundle of His และแขนงของมันไปยัง Purkinje fibers สู่กล้ามเนื้อทั่ว ventricles

ความเร็วการนำไฟฟ้าในบริเวณนี้ก็ช้าที่สุดที่ AV node จึงเป็น บริเวณที่เกิด AV block ได้ง่ายที่สุด เมื่อคลื่นไฟฟ้าเมื่อผ่านพ้น AV node ได้ จะเข้าสู่ bundle of His และแขนงของมัน โดยมีความเร็วการนำไฟฟ้าเพิ่มเป็น 3-4 เมตร/วินาที ลักษณะของ action potential ก็เปลี่ยนไปคือมี depolarization (phase 0) เกิดขึ้นเร็ว มี amplitude สูง และ duration ยาวนาน (repolarization กินเวลานาน) เมื่อคลื่นไฟฟ้าเข้าสู่กล้ามเนื้อของ ventricles ความเร็วการนำไฟฟ้ากลับช้าลง เหลือประมาณ 1 เมตร/วินาที อาจเพราะใยกล้ามเนื้อมีขนาดเล็กกว่า แต่มีกิ่งแขนงมากกว่าใน bundle of His และแขนงของมัน

### 2.2.4 ระยะพักของกล้ามเนื้อหัวใจ

ความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น (excitability) ของกล้ามเนื้อจะเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการบีบตัวของหัวใจ พบว่าถ้ากระตุ้นหัวใจในระยะที่กำลังบีบตัว แม้ว่าจะใช้ความแรงสักเท่าใดก็ตาม หัวใจจะไม่ตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นเลย ระยะนี้เรียกว่า **Absolute refractory period (ARP)** ต่อมาเมื่อหัวใจเริ่มคลายตัวกล้ามเนื้อหัวใจจะค่อย ๆ มีการตอบสนองบ้าง และต้องใช้การกระตุ้นที่แรงขึ้น การตอบสนองได้ระยะนี้เรียกว่า **Relative refractory period (RRP)**

จากการที่ระยะเวลาของ absolute refractory period ในกล้ามเนื้อหัวใจยาว จึงไม่สามารถกระตุ้นให้หัวใจเกิด Tetanus (ตะคริว) ได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตอยู่

### 2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อความถี่ action potential ของ nodal cells

อัตราเต้นของหัวใจขึ้นกับความถี่ของ action potential ที่สร้างจาก pacemaker (SA node) ส่งไปกระตุ้นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ แม้ว่า SA node สามารถสร้างคลื่นไฟฟ้าได้เอง แต่ความถี่คลื่นไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงได้ด้วยปัจจัยหลายประการ เช่น โดยอิทธิพลของเส้นประสาทและฮอร์โมนจากภายนอกที่มายังหัวใจ รวมทั้งอุณหภูมิและไอออนบางตัว ปัจจัยใดที่สามารถเพิ่มหรือลดความถี่คลื่นไฟฟ้าจาก SA node ย่อมทำให้อัตราเต้นของหัวใจเพิ่มหรือลดด้วยโดยปัจจัยนั้นไปมีผลต่อศักย์ ไฟฟ้าของ pacemaker ดังนี้

1. ระดับ resting potential
2. ระดับ threshold potential
3. ความชัน (slope) ของ pacemaker potential

การเปลี่ยนแปลงข้อใดข้อหนึ่ง หรือหลายข้อดังกล่าวย่อมมีผลต่อช่วงเวลาที่ศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนจากระดับพัก (resting potential) ไปยังระดับ threshold ดังนั้นจึงมีผลต่อความถี่คลื่นไฟฟ้าจาก SA node

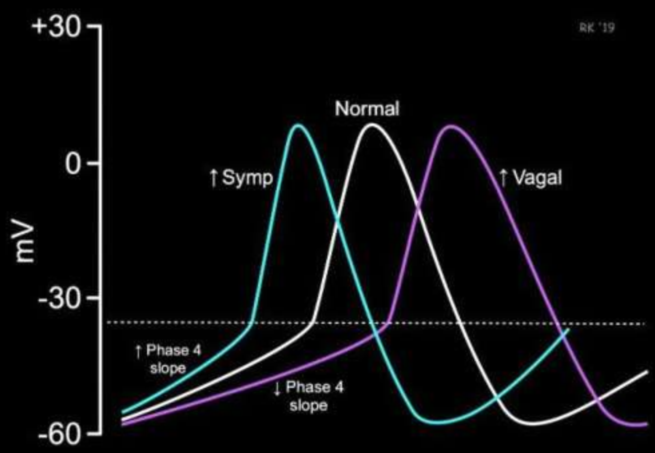
**ผลของอะเซติลโคลีน (acetylcholine, Ach) และเส้นประสาทเวกัส (vagus)**

การกระตุ้นเส้นประสาทเวกัส หรือให้อะเซติลโคลีน มีผลลดอัตราเต้นของหัวใจ (bradycardia) หากแรงกระตุ้นมากพอก็อาจทำให้หัวใจหยุดเต้นได้ ทั้งอะเซติลโคลีน และเวกัส มีผลต่อเซลล์ pacemaker ดังนี้ 1) ทำให้ repolarization เกิดเร็วขึ้น 2) เกิด hyperpolarization และ 3) ความชันของ pacemaker potential ลดลง

ผลคือ การเกิด action potential แต่ละอันต้องใช้เวลานานขึ้น ความถี่จึงลดลง โดยฤทธิ์ของ Ach คือไปเพิ่มความสามารถในการผ่านของโปตัสเซี่ยมที่เยื่อเซลล์

**ผลของ epinephrine หรือ norepinephrine และเส้นประสาทซิมพาเทติก**

ถ้าให้ epinephrine หรือ norepinephrine แก่หัวใจ หรือกระตุ้นเส้นประสาทซิมพาเทติกที่มายังหัวใจ จะทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น (tachycardia) สาเหตุสำคัญเนื่องจาก pacemaker potential มีความชันมากขึ้น




รูปที่ 8-22 แสดงความชัน (slope) ของ pacemaker potential สีแดง : มีความชันสูงขึ้นเมื่อประสาทซิมพาเทติกถูกกระตุ้น, สีดำ : มีความชันลดลง เมื่อประสาทพาราซิมพาเทติกถูกกระตุ้น

**ผลของไอออน**

หากสารละลายภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นของโปตัสเซี่ยมต่ำ ทำให้ความชันของ pacemaker potential สูงขึ้น ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ขณะพักมีค่าเป็นลบน้อยลง และระดับ threshold ต่ำลง ทั้งหมดนี้ทำให้ SA node สร้างคลื่นไฟฟ้าออกไปได้ด้วยความถี่สูงขึ้น นอกจากนี้การลดโปตัสเซี่ยม ยังทำให้ Purkinje system มีแนวโน้มกลายเป็น pacemaker จึงมีผลทำให้เกิด extrasystole ได้ง่าย หากสารละลายภายนอกเซลล์มีโปตัสเซี่ยมสูง จะให้ผลตรงข้ามคือความชันของ pacemaker potential ลดลง

**ผลของอุณหภูมิ**

หากทำให้อุณหภูมิทั่วหัวใจต่ำลงจะมีผลลดความถี่ คลื่นไฟฟ้าจาก SA node โดยลดความชันของ pacemaker potential หากอุณหภูมิต่ำมากอาจหยุดการสร้างคลื่น ไฟฟ้าของ SA node ได้ การเพิ่มอุณหภูมิมีผลเพิ่มความชันของ pacemaker potential หากอุณหภูมิสูงมากอาจเหนี่ยวนำให้ Purkinje fiber กลายเป็น pacemaker ได้เช่นเดียวกับผลของ epinephrine หรือ norepinephrine

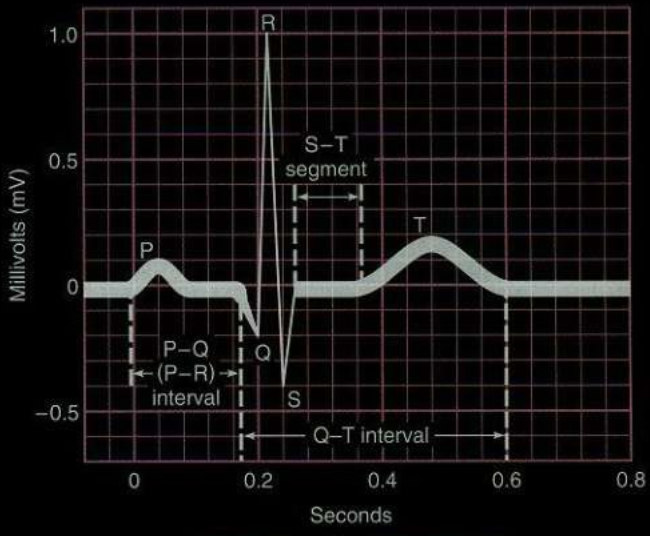
## 2.3 คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram, ECG, EKG)

เป็นการบันทึกศักย์ไฟฟ้าโดยการอาศัยหลักการที่ว่าการเกิด Depolarization และ Repolarization ของหัวใจที่มีจังหวะและความถี่ เท่ากับการเต้นของหัวใจโดยบันทึกได้จากขั้วไฟฟ้าที่วางบนผิวนอกของร่างกาย การบันทึก EKG มักจัดให้ศักย์ไฟฟ้าของขั้ว electrode เป็นขั้วบวกเมื่อเกิด depolarization จะวิ่งเข้าหา electrode จะได้ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวตั้ง และเมื่อวิ่งออกจาก electrode จะได้ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวกลับ จากการศึกษาจะได้ภาพบันทึกประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้าซึ่งมีรูปแบบและขนาดต่าง ๆ กัน สุดแต่จะเป็น lead ใดแต่ลักษณะพื้นฐานของคลื่นไฟฟ้าเหล่านี้ อาจจำแนกออกได้เป็น 3 คลื่น คือ

**- P wave** คือ การเกิด Depolarization ของหัวใจห้องบน เริ่มตั้งแต่สัญญาณไฟฟ้า จาก S-A node แพร่เข้าสู่หัวใจห้องบน ขวา-ซ้าย และ AV node

**- QRS complex** คือ การเกิด Depolarization ของหัวใจห้องล่าง เริ่มตั้งแต่ Depolarization บริเวณ Interventricular system เคลื่อนไปสู่กล้ามเนื้อหัวใจห้องล่าง

**- T wave** คือการเกิด Repolarization ของหัวใจห้องล่างสำหรับ Repolarization ของ Atrium เราไม่พบเนื่องจากเกิดในช่วง Depolarization ของ Ventricle




รูปที่ 8-23 แสดงลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Lead II)

การบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ใช้เป็นมาตรฐานมีอยู่ 12 lead ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ ตามจำนวนขั้วบันทึกคือ

**Bipolar lead** ใช้ Electrode 2 อันแตะบนตำแหน่งของร่างกาย 2 แห่ง ตำแหน่งของร่างกายที่ถือว่าเป็นตำแหน่งมาตรฐานสำหรับวัด EKG แบบนี้คือ แขนขวา แขนซ้าย และขาซ้าย

ความแตกต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างคู่ Electrodes ที่แตะบนตำแหน่งดังกล่าว เรียกว่า Standard limb lead มี 3 leads คือ

- Lead I : แขนขวา (-), แขนซ้าย (+)
- Lead II : แขนขวา (-), ขาซ้าย (+)
- Lead III : แขนซ้าย (-), ขาซ้าย (+)

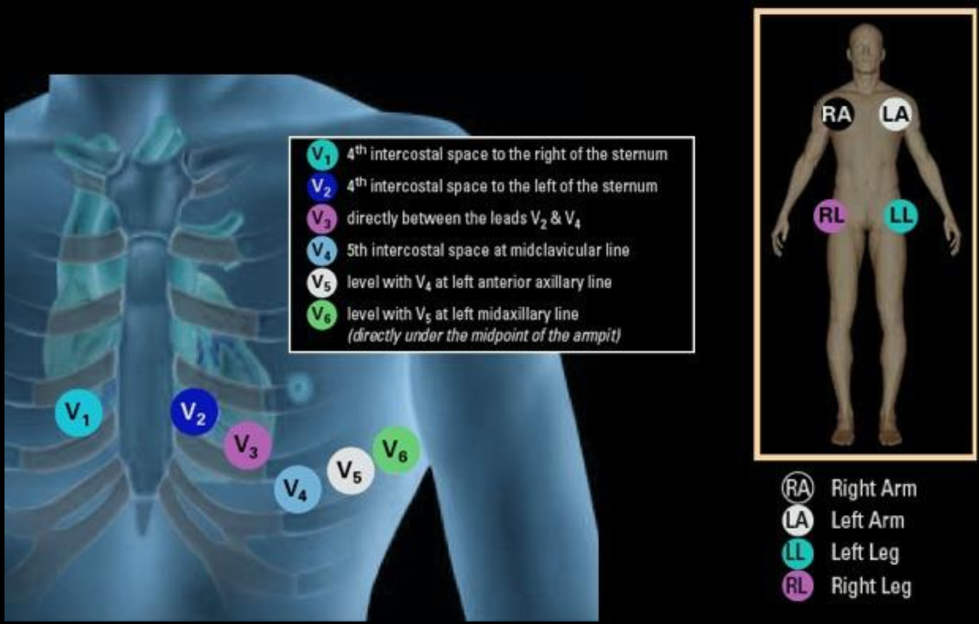
จากการวางขั้วบันทึกใน Limb lead นี้ทำให้เกิดรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ที่มีหัวใจอยู่ตรงกลาง เรียกว่า Einthoven’s triangle ทำให้ผลรวมของความสูงของ QRS complex จาก lead I และ lead III เท่ากับความสูงของ QRS complex จาก lead II

**Unipolar leads** เป็นการใช้ Electrode เพียงอันเดียว โดยทำให้ Electrode อีกอันเป็น Indifferent electrode คือมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ ประกอบด้วย

- Augmented lead ซึ่งมี 3 lead คือ aVR, aVL, aVF
- Chest lead (Precordial lead) ซึ่งมี 6 lead คือ V1, V2 ,V3,V4, V5, V6

ตำแหน่งการวาง Electrode ของ Chest lead

- V1 ที่ช่องซี่โครงที่ 4 ขวาชิดขอบ Sternum
- V2 ที่ช่องซี่โครงที่ 4 ซ้ายชิดขอบ Sternum
- V3 อยู่บริเวณกึ่งกลางระหว่าง V2 และ V4
- V4 ที่ช่องซี่โครงที่ 5 ตัดกับ Mid clavicular line
- V5 ที่ช่องซี่โครงที่ 5 ตัดกับ Anterior axillary line
- V6 ระดับเดียวกับ V4 และ V5 ตัดกับ mid axillary line




รูปที่ 8-24 แสดงการต่อขั้ว Electrode ใน Limb lead และ Chest lead (Precordial lead)

**ประโยชน์ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ**

ลักษณะของคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะแสดงถึงสภาพการทำงานของหัวใจโดยจะเปลี่ยนแปลงไปจากรูปร่างปกติเมื่อมีพยาธิสภาพที่หัวใจ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ wave หรือ Segment interval ใดก็จะขึ้นกับชนิดของความผิดนั้น ๆ ซึ่งสามารถบอกถึง

1. ความผิดปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ
2. ความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ
3. ความผิดปกติของขนาดกล้ามเนื้อหัวใจ
4. ความผิดปกติของกล้ามเนื้อหัวใจ
5. ความผิดปกติของสมดุลอิเล็กโทรลัยท์

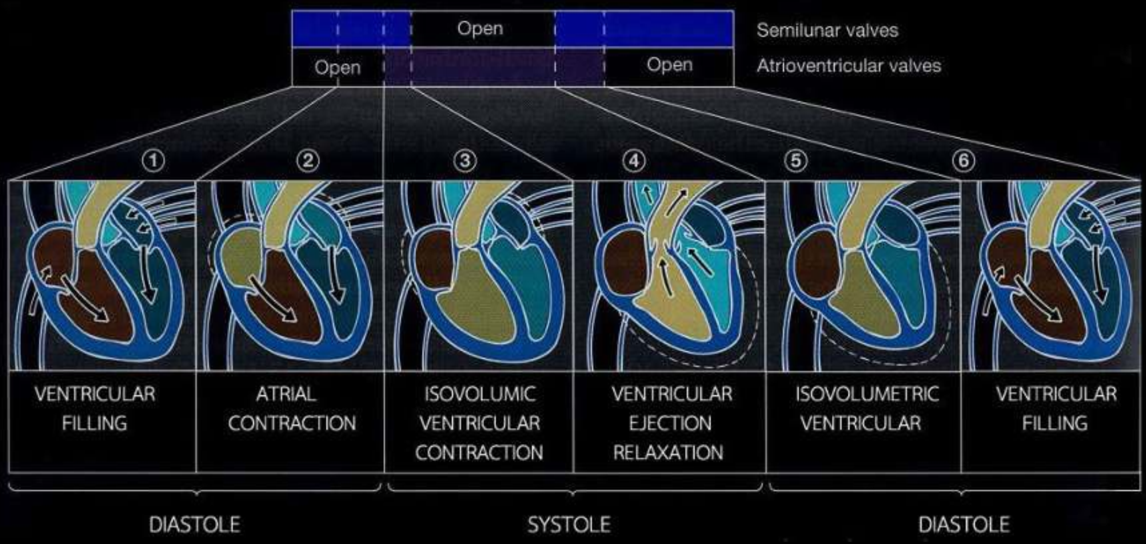
## 2.4 วงจรการทำงานของหัวใจ (Cardiac cycle)

หัวใจทำงานเปรียบเสมือนเครื่องสูบ (Pump) ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดไปทั่วร่างกายนำอาหารและสารต่าง ๆ ไปสู่เนื้อเยื่อขณะเดียวกันก็นำของเสียต่าง ๆ ที่เกิดจากการ metabolism เช่น $CO_2$ ไปกำจัดออกจากร่างกาย หัวใจทำงานโดยการบีบตัว (Systole) และคลายตัว (Diastole) สลับกันไปเรื่อย ๆ โดยอัตโนมัติ การบีบตัวและการคลายตัว 1 ครั้ง เรียกว่า 1 วงจร หรือ 1 Cardiac cycle

### 2.4.1 ลำดับเหตุการณ์ใน Cardiac cycle

**1. Ventricular filling** เป็นระยะที่ ventricle คลายตัว (diastole) ความดันภายใน ventricle ต่ำกว่าภายใน atrium ลิ้น A-V valve จึงเปิดให้เลือดไหลลงสู่ ventricle ตามแรงโน้มถ่วง (ประมาณ 70% ของเลือดที่ไหลลงสู่ ventricle)

**2. Atrial contraction** เป็นระยะที่ atrium บีบตัวทำให้ความดันภายใน atrium สูงขึ้นมีผลดันเลือดให้ไหลเข้าสู่ ventricle ได้มากขึ้นอีก (ประมาณ 30% ของเลือดที่ไหลลงสู่ ventricle)




รูปที่ 8-25 แสดงระยะต่าง ๆ ของ Cardiac cycle

**3. Isovolumetric ventricular contraction** เป็นระยะที่เริ่มมีการหดตัวของ ventricle ความดันภายใน ventricle เริ่มสูงขึ้นแต่ปริมาตรภายในยังไม่เปลี่ยนแปลงเพราะลิ้นทุกอันยังปิดสนิท (A-V valves ปิดเพราะความดันใน ventricle สูงกว่าใน atrium ส่วน semilunar valves ปิดเพราะความดันใน ventricle ยังต่ำกว่าความดันใน aorta และ pulmonary artery)

**4. Ventricular ejection** เป็นระยะที่มีเลือดออกจาก ventricle เพราะความดันใน ventricle จะสูงกว่าความดันในหลอดเลือด aorta และ pulmonary artery ลิ้น semilunar valves เปิดเลือดไหลออกจาก ventricle

**5. Isovolumetric ventricular relaxation** เป็นระยะที่เริ่มมีการคลายตัวของ ventricle เกิดขึ้นเมื่อหัวใจบีบตัวไล่เลือดออกสิ้นสุดแล้ว ความดันใน ventricle ก็จะลดต่ำกว่าในหลอดเลือด aorta และ pulmonary artery ลิ้น semilunar valves จึงถูกดันกลับมาปิด แต่ลิ้น A-V valves ยังไม่เปิดเพราะความดันใน ventricle ยังสูงกว่าใน atrium จึงยังไม่มีการเพิ่มปริมาตรเลือดใน ventricle

### 2.4.2 เสียงที่เกิดจากการทำงานของหัวใจ (Heart sound)

สาเหตุของการเกิดเสียงหัวใจเนื่องจากมีการสั่นสะเทือนของการปิดของลิ้นหัวใจและการไหลวนของเลือด หรือมีการเร่งหรือลดอัตราความเร็วของเลือดในขณะไหลผ่านในห้องต่าง ๆ ของหัวใจสามารถได้ยินเสียงโดยใช้ Stethoscope ส่วนใหญ่สามารถฟังได้แต่เสียงที่ 1 และเสียงที่ 2 เท่านั้น ส่วนเสียงที่ 3 และ 4 ต้องอาศัยเครื่องมือช่วยฟัง

**เสียงที่หนึ่ง (Lub)** เกิดระหว่างที่ Ventricle เริ่มบีบตัวตรงกับระยะ Isovolumetric Ventricular contraction จากการสั่นสะเทือนจากการปิดของลิ้น A-V valve

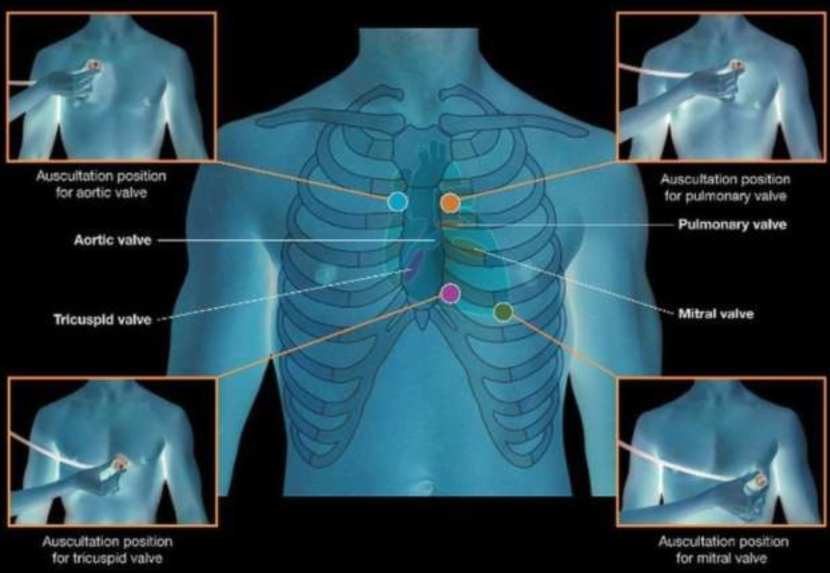
**เสียงที่สอง (Dub)** เกิดระหว่างที่ Ventricle เริ่มคลายตัวตรงกับระยะ Isovolumetric ventricular relaxation จากการปิดของลิ้น Semilunar valves มีระดับเสียงสูงกว่าเสียงที่ 1

**เสียงที่สาม** เกิดในช่อง Ventricle คลายตัว AV-valves เปิด เสียงนี้เกิดจากการไหลของเลือดจาก atrium ลงสู่ Ventricle โดยเปลี่ยนอัตราการไหลจากเร็วมาเป็นช้า ปกติมักไม่ได้ยินในผู้ใหญ่

**เสียงที่สี่** เกิดในขณะที่ Atrium บีบตัวดันเลือดออกจาก Atrium ลงสู่ Ventricle มักไม่ได้ยินต้องใช้เครื่องบันทึกเสียงหัวใจช่วยฟัง

ตำแหน่งที่ได้ยินเสียงหัวใจชัดเจน

- Pulmonary semilunar valve ฟังชัดเจนที่บริเวณช่องซี่โครงที่ 2 ข้างซ้ายชิดขอบกระดูก Sternum
- Aortic semilunar valve ฟังชัดเจนที่บริเวณช่องซี่โครงที่ 2 ข้างขวาชิดขอบกระดูก Sternum
- Tricuspid valve ฟังชัดเจนที่บริเวณช่องซี่โครงที่ 4 ข้างขวาชิดขอบกระดูก Sternum
- Mitral valve ฟังชัดเจนที่บริเวณ Apex ของหัวใจ




รูปที่ 8-26 แสดงตำแหน่งในการฟังเสียงหัวใจ

**Murmurs (เสียงหัวใจผิดปกติ)**

เป็นเสียงหัวใจผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการไหลของเลือดภายในหัวใจในขณะที่หัวใจมีการบีบตัว หรือคลายตัวมักพบในความผิดปกติของลิ้นหัวใจ เช่น ลิ้นหัวใจรั่ว (Insufficiency) ทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของเลือด หรือลิ้นหัวใจตีบแข็ง (Stenosis) ทำให้เลือดไหลผ่านได้ยากจนมีการไหลแบบลักษณะ Turbulent flow ขึ้น ดังตาราง

ตารางที่ 8-1 แสดงตำแหน่งของลิ้นหัวใจและความผิดปกติ

| ลิ้นหัวใจ | ความผิดปกติ | ช่วงที่ได้ยินเสียง |
|---|---|---|
| Aortic หรือ Pulmonary semilunar valve | Stenosis | Ventricular systole |
| | Insufficiency | Ventricular diastole |
| Mitral หรือ Tricuspid valve | Stenosis | Ventricular diastole |
| | Insufficiency | Ventricular systole |

**2.5 ปริมาณเลือดที่ถูกบีบออกจากหัวใจ**

หน้าที่ของหัวใจคือบีบตัวดันเลือดออกจากหัวใจเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ให้เพียงพอต่อความต้องการของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายในขณะอยู่ในสภาวะต่าง ๆ อัตราการไหลของเลือดจากหัวใจ (cardiac output) จะมากหรือน้อยขึ้นกับอัตราการเต้นของหัวใจกับปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจต่อการบีบตัวของหัวใจในแต่ละครั้ง (stroke volume) ดังสมการ

Cardiac output = Heart rate X Stroke volume

**2.5.1 Cardiac output (CO)** หมายถึง ปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจ ในระยะเวลา 1 นาที ค่าของ cardiac output เป็นผลคูณของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) และปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจจากการบีบตัวแต่ละครั้ง (stroke volume) มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร/นาที หรือ ลิตร/นาที ในคนปกติมีค่าประมาณ 5,000 มล./นาที (5 ลิตร/นาที) แต่ถ้าหากขณะออกกำลังกายอาจเพิ่มได้ถึง 20 ลิตร/นาที ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อ cardiac output ประกอบด้วยสิ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ค่า stroke volume และ heart rate

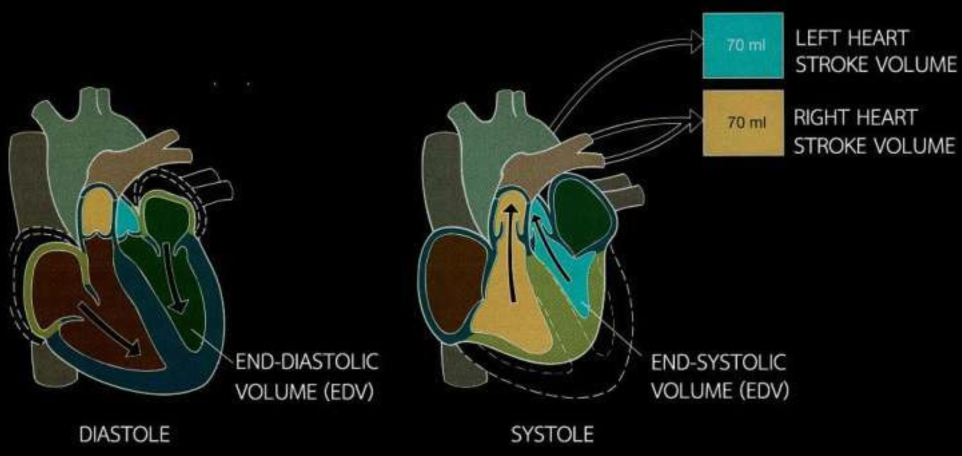
**2.5.2 Stroke volume (SV)** หมายถึง ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกในแต่ละครั้งขึ้นกับผลต่างของปริมาณเลือดใน Ventricle ก่อนบีบตัว (End diastolic volume = EDV) และปริมาณเลือดที่เหลือใน ventricle หลังบีบตัว (End systolic volume = ESV) ดังสมการ

SV = EDV - ESV

ปกติ stroke volume ของผู้ใหญ่ขณะพัก มีค่าประมาณ 70-80 มล./ครั้ง ปัจจัยที่มีผลต่อ stroke volume คือ สิ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของทั้ง EDV และ ESV

**ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเลือดใน Ventricle ก่อนบีบตัว (EDV)**

- **Filling time (Diastole)** คือ ช่วงเวลาที่เลือดไหลเข้าสู่หัวใจ หรือเลือดจาก atrium ไหลเข้าสู่ ventricle ถ้าหากช่วงเวลานี้สั้นจะทำให้ EDV ลดลง
- **Filling pressure** คือ แรงที่ช่วยดันให้เลือดลงสู่ ventricle ถ้าแรงดันนี้สูงขึ้นจะดันเลือดกลับสู่หัวใจ (Venous return) เพิ่มขึ้นส่งผลให้ EDV เพิ่มขึ้น การบีบตัวของ Atrium จะช่วยเสริมให้เลือดไหลเข้าสู่ Ventricle ได้มากขึ้น
- **Distensibility** คือ ความสามารถในการยืดขยายของกล้ามเนื้อหัวใจ ถ้าหากกล้ามเนื้อหัวใจมีการยืดขยายได้ดี เลือดก็จะไหลเข้าสู่ ventricle ได้มากในช่วง diastole ส่งผลให้ EDV เพิ่มขึ้น
- ปัจจัยอื่นๆ เช่น สภาวะของผนังเยื่อหุ้มหัวใจ หากมีการติดเชื้อหรือมีสารเหลวไปคั่ง ย่อมมีผลไปต้านการยืดขยายของหัวใจ




รูปที่ 8-27 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อ Stroke volume

**ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเลือดที่เหลือใน Ventricle หลังบีบตัว (ESV)**

**- แรงบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ** หากหัวใจบีบตัวแรงจะทำให้ ESV ลดลง จึงเพิ่ม Stroke volume แรงการบีบตัวของหัวใจถูกควบคุมโดยเส้นประสาทอัตโนมัติที่มายังหัวใจ การกระตุ้นเส้นประสาทซิมพาเทติกมีผลทำให้เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจหดตัวแรงขึ้น ส่วนการกระตุ้นเส้นประสาทพาราซิมพาเทติกที่ไปหัวใจให้ผลตรงข้าม สารที่มีผลต่อการบีบตัวของหัวใจเรียกว่า inotropes สารที่ทำให้หัวใจบีบตัวแรงขึ้น เรียก positive inotropes เช่น catecholamines สารที่ทำให้แรงบีบตัวลดลงเรียก negative inotropes เช่น สารพิษจากเชื้อแบคทีเรีย แรงบีบตัวยังขึ้นกับความยาวของเซลล์ กล้ามเนื้อหัวใจก่อนบีบตัว (EDV) หากหัวใจได้รับเลือดเข้าสู่หัวใจ (preload) มาก ทำให้เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจยืดยาวออก เมื่อหดตัวจะมีผลให้หัวใจบีบตัวแรงขึ้น (Starling's law of the heart)

- **Pressure load** ได้แก่ ความดันเลือดแดงในหลอดเลือดแดงใหญ่ เช่น ที่ aorta หากความดันเลือดในหลอดเลือดมีค่าสูง จะทำให้หัวใจบีบเลือดออกได้น้อย เนื่องจากมีแรงต้าน (afterload) มาก ส่งผลให้ ESV เพิ่ม หากความดันเลือดใน aorta ลด ESV จะลดตาม

**- ปัจจัยอื่นๆ** เช่น ความผิดปกติของลิ้นหัวใจ ตัวอย่าง เช่น หากลิ้น semilunar valves เปิดไม่ได้เต็มที่จะทำให้ ESV สูงขึ้น ดังนั้น SV ลดลง หรือกรณีที่ AV valves หรือ semilunar valves ปิดไม่สนิท เลือดสามารถไหลย้อนทางก็ทำให้ SV ลดลงได้อย่างมาก

**2.5.3 Heart rate (HR)** หมายถึง อัตราการเต้นของหัวใจใน 1 นาที ในคนปกติขณะพัก มีค่าประมาณ 70-75 ครั้งต่อนาที ในทารกแรกเกิดมีค่าประมาณ 135 ครั้งต่อนาที ส่วนในนักกีฬาที่ฝึกฝนมาอย่างดี อัตราการเต้นของหัวใจอาจลดต่ำลง เหลือเพียง 50 ครั้ง/นาที ชีพจรเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ตัวอย่างตามตารางที่ 8-2 ชีพจรที่เต้นเร็วทำให้มี cardiac output เพิ่มขึ้น แต่หากหัวใจเต็นเร็วเกินไป จนทำให้ช่วงการคลายตัวของหัวใจลดลงอย่างมาก จะทำให้ Stroke volume และ cardiac output ลดลง

ตารางที่ 8-2 แสดงปัจจัยที่ส่งผลถึงอัตราการเต้นของหัวใจ

| อัตราเต้นของหัวใจ | ปัจจัย |
|---|---|
| เพิ่มขึ้นโดย | ตื่นเต้น, โกรธ, หายใจเข้า, ความรู้สึกเจ็บ, ออกกำลังกาย, ขาด ออกซิเจน), ลดการกระตุ้น baroreceptors, norepinephrine, epinephrine, thyroid hormones, เป็นไข้ |
| ลดลงโดย | กลัว, โศกเศร้า หายใจออก เพิ่มการกระตุ้นของ baroreceptors, เพิ่ม intracranial pressure |

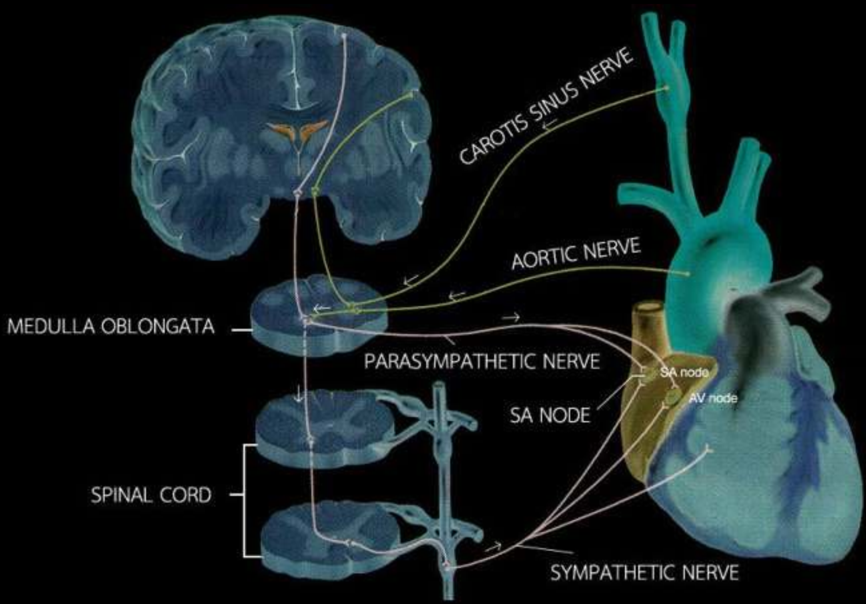
## 2.6 การควบคุมการทำงานของหัวใจ

การทำงานของหัวใจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้โดย อิทธิพลของปัจจัยหลายอย่างซึ่งสรุปเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 3 พวก ได้แก่ การควบคุมโดยประสาทอัตโนมัติ การควบคุมโดยฮอร์โมน และการควบคุมโดยหัวใจเอง (autoregulation) คือ

**1. การควบคุมโดยประสาทอัตโนมัติ (Autonomic nervous control)** แม้ว่าหัวใจจะมีคุณสมบัติในการสร้างคลื่นไฟฟ้าและกระตุ้นให้หัวใจบีบตัวได้เอง แต่การทำงานของหัวใจใน ร่างกายยังได้รับอิทธิพลของระบบประสาทอัตโนมัติ

=> **เส้นประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic nerve)** จากเซลล์ประสาทในเมดัลลาของก้านสมอง ให้เส้นใยประสาทไปที่ SA node และ AV node เป็นส่วนใหญ่ การเร้าเส้นประสาทพาราซิมพาเทติกที่ไปหัวใจมีผลให้อัตราเต้นของหัวใจช้าลง

=> **เส้นประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nerve)** เส้นประสาทซิมพาเทติกที่ไปควบคุมการทำงานของหัวใจมีเซลล์ประสาทที่ไขสันหลัง บริเวณอก ที่ระดับ T1 ถึง T5 หรือ T6 และมีเส้นใยประสาท ไปยัง SA และ AV nodes การเร้าเส้นประสาทซิมพาเทติกที่ไปหัวใจมีผลให้อัตราเต้นของหัวใจเร็วขึ้น




รูปที่ 8-28 แสดงการควบคุมการทำงานของหัวใจโดยระบบประสาท

**2. การควบคุมโดยฮอร์โมน** ฮอร์โมน Epinephrine, Norepinephrine, thyroxine มีผลเพิ่มอัตราเต้นและแรงบีบตัวของหัวใจ

**3. การควบคุมโดยหัวใจเอง (Autoregulation)**

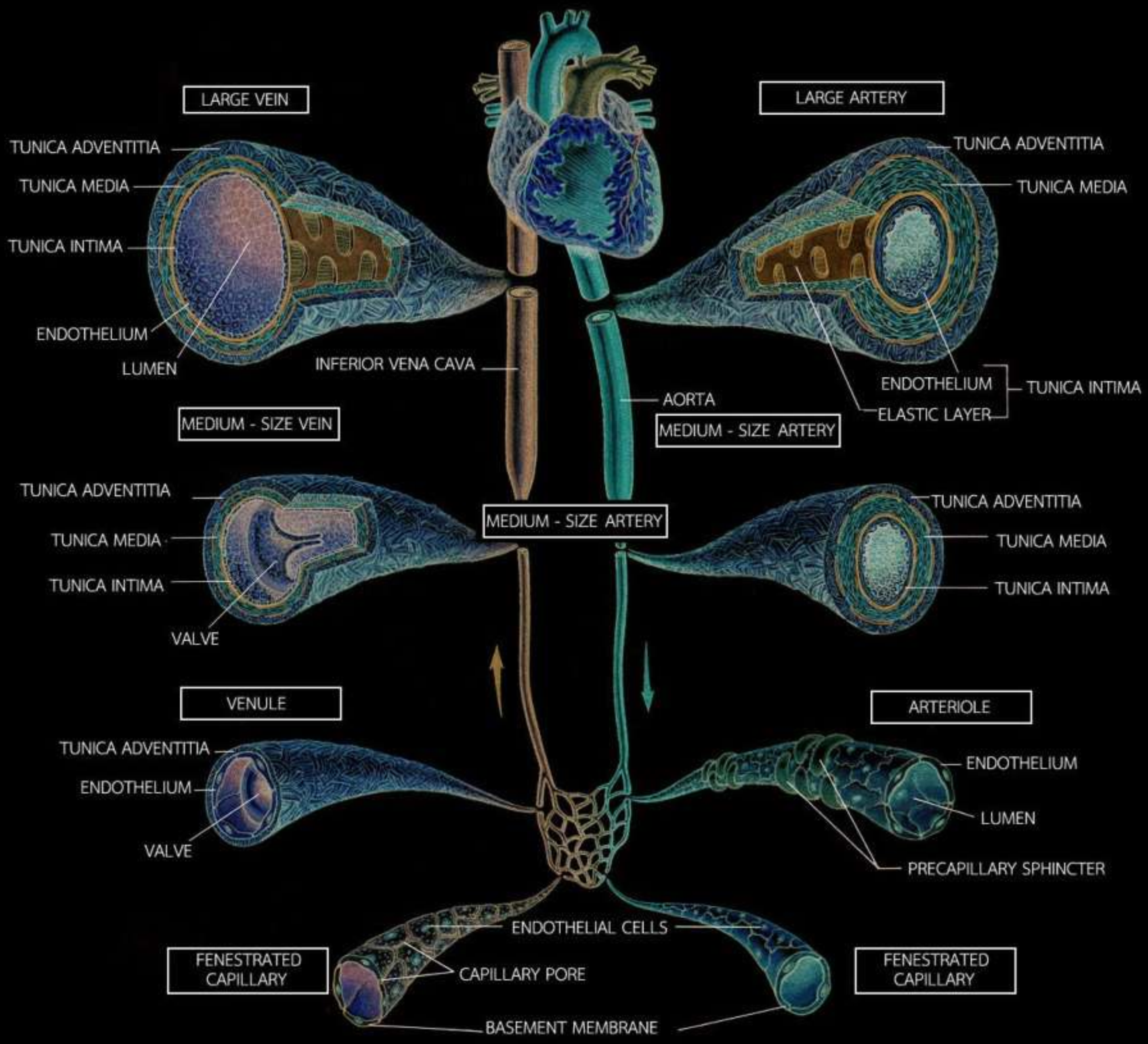
=> **Heterometric autoregulation** ถ้าหากปริมาตรเลือดใน ventricle ก่อนบีบตัวมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะมีผลให้หัวใจบีบตัวได้แรงขึ้น เป็นไปตามกฎของ Starling’s law of the heart คล้ายกับกล้ามเนื้อลาย แต่มีขีดจำกัด หากกล้ามเนื้อหัวใจถูกยืดขยายมากเกินไปจนเกินขีดจำกัด กลับจะทำให้แรงการบีบตัวของหัวใจลดลง

=> **Homeometric autoregulation** เป็นคุณสมบัติของหัวใจเอง ซึ่งขึ้นกับความดันเลือดใน Aorta หากความดันใน Aorta สูงขึ้น หัวใจจะบีบตัวแรงขึ้น เพื่อดันเลือดออกจากหัวใจ ในปริมาณเท่าเดิม หรือเกือบเท่าเดิมโดยไม่ขึ้นกับความยาวของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจก่อนบีบตัว และไม่ขึ้นกับระบบประสาทหรือฮอร์โมนใด ๆ

******************************************

## ตอนที่ 3
## หลอดเลือดและการไหลเวียนเลือดในร่างกาย
## (Blood vessels and Blood circulation)

เลือดที่ออกจากหัวใจจะไหลไปเลี้ยงเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย โดยอาศัยหลอดเลือดซึ่งแตกสาขาออกไปทั่วร่างกาย เราแบ่งหลอดเลือดได้เป็น 3 พวก ได้แก่ หลอดเลือดแดง หลอดเลือดฝอย และหลอดเลือดดำ หลอดเลือดเหล่านี้ต่างมีองค์ประกอบ คุณสมบัติ และหน้าที่บางอย่างแตกต่างกัน




รูปที่ 8-29 แสดงโครงสร้างผนังหลอดเลือดชนิดต่าง ๆ

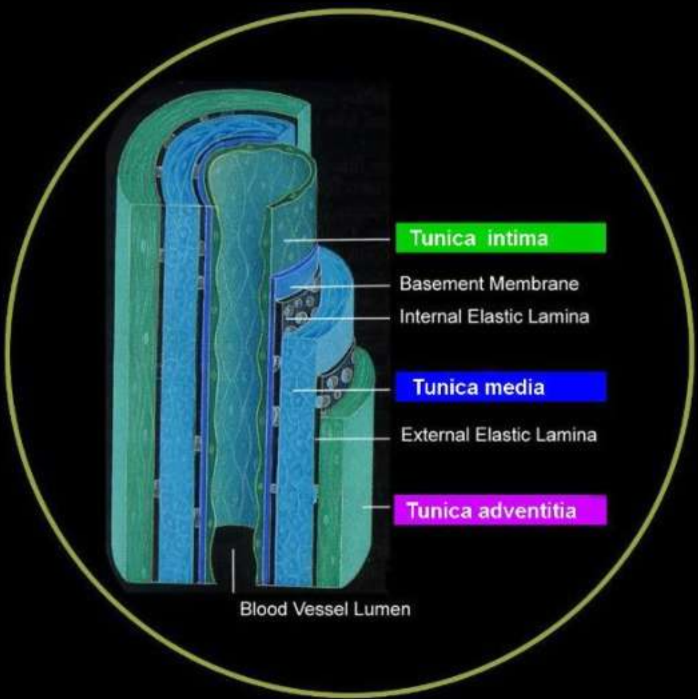
### 3.1 หลอดเลือด

#### 3.1.1 หลอดเลือดแดง (Arteries)

เป็นหลอดเลือดที่นำเลือดออกจากหัวใจ จะมีผนังหนาเพื่อรับกับความดันของเลือดที่ผ่านภายในหลอดเลือดทุกๆ ครั้งที่หัวใจบีบตัว หลอดเลือดที่ใหญ่ที่สุดคือ aorta ซึ่งออกจากหัวใจแล้วแตกแขนงออกเป็น artery ที่มีขนาดเล็กลงตามลำดับ จนเป็นหลอดเลือดแดงขนาดเล็กที่สุดเรียกว่า หลอดเลือดแดงรอง (arterioles)

หลอดเลือดแดงมีความยืดหยุ่นดี มีเนื้อเยื่ออิลาสติกมาก โดยเฉพาะหลอดเลือดแดงใหญ่ สำหรับ artery ขนาดเล็ก arterioles และกล้ามเนื้อหูรูด (pre-capillary sphincter) มีเนื้อเยื่ออีลาสติกน้อยกว่าหลอดเลือดแดงใหญ่ แต่มีสัดส่วนปริมาณกล้ามเนื้อเรียบค่อนข้างมาก หลอดเลือดเหล่านี้จึงตีบหรือขยายได้มากซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อความต้านทานและอัตราไหลของเลือดที่จะผ่านเข้าสู่หลอดเลือดฝอยของเนื้อเยื่อต่างๆ ผนังของหลอดเลือดแดงขนาดใหญ่ มี 3 ชั้น คือ

- **ชั้นในสุด** เรียกว่า **Tunica intima** ประกอบด้วยเซลล์บุหลอดเลือด มีเนื้อเยื่ออิลาสติกอยู่ข้างใต้
- **ชั้นกลาง** เรียกว่า **Tunica media** เป็นผนังชั้นกลาง ซึ่งจะมีความหนาที่สุดประกอบด้วยเนื้อเยื่อ อิลาสติกปนกับกล้ามเนื้อเรียบ
- **ชั้นนอก** เรียกว่า **Tunica externa (Tunica adventitia)** ประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจน และเนื้อเยื่ออิลาสติกเรียงตัวประสานกัน




รูปที่ 8-30 แสดงชั้นของหลอดเลือดแดง

### 3.1.2 หลอดเลือดฝอย (Capillary)

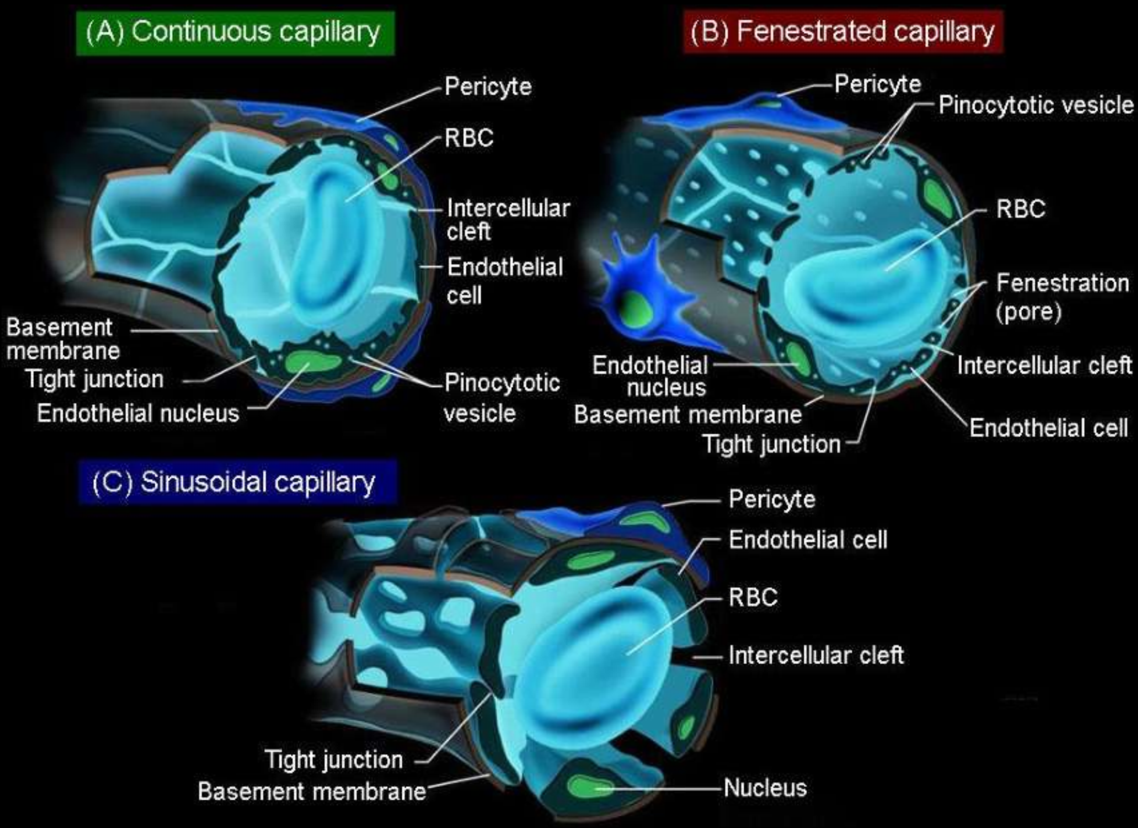
เป็นหลอดเลือดขนาดเล็กมาก เชื่อมต่อระหว่าง arteriole กับ venule การที่เลือดไหลจาก arteriole ไปสู่ venule โดยผ่านทางหลอดเลือดฝอย เรียกว่า microcirculation มีผนังบาง ประกอบด้วยเซลล์เยื่อบุหลอดเลือด (endothelial cells) เพียงชั้นเดียว และมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8-10 ไมโครเมตร เนื่องจากผนังของหลอดเลือดฝอยนั้นมีความบางมาก หลอดเลือดฝอยจึงเป็นทางผ่านในการแลกเปลี่ยนสารอาหาร ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ของเสียระหว่างเลือดกับเนื้อเยื่อ

**ชนิดของหลอดเลือดฝอย** หลอดเลือดฝอยแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของผนังหลอดเลือดฝอย ได้แก่

**1. หลอดเลือดฝอยผนังต่อเนื่อง (continuous capillary)** ที่ผนังของหลอดเลือดฝอยชนิดนี้จะไม่มีช่องว่างอยู่เนื่องจากเซลล์เรียงเสมอกันเรียบร้อย พบได้ที่กล้ามเนื้อลายและในระบบประสาท

**2. หลอดเลือดฝอยผนังมีรู (fenestrated capillary)** ผนังของหลอดเลือดฝอยชนิดนี้จะมีรูพรุน จึงพบได้ที่ไต และต่อมไร้ท่อ

**3. หลอดเลือดฝอยผนังไม่ต่อเนื่อง (discontinuous capillary)** ผนังของหลอดเลือดฝอยชนิดนี้จะไม่มีรู เพียงแต่ต่อกันไม่สนิทเหมือนหลอดเลือดฝอยชนิดแรก สามารถพบได้ที่อวัยวะต่างๆเช่น ตับ ม้าม รวมทั้งไขกระดูก เป็นต้น




รูปที่ 8-31 แสดงชนิดของหลอดเลือดฝอย

### 3.1.3 หลอดเลือดดำ (Vein)

เลือดที่ผ่านจากหลอดเลือดฝอยจะถูกนำกลับสู่หัวใจโดยผ่านทางหลอดเลือดดำซึ่งมีขนาดต่างๆ ได้แก่หลอดเลือดดำเล็ก (venule) ซึ่งมีขนาดเล็กอยู่ติดกับหลอดเลือดฝอย เลือดจาก venule จะไหลเข้าหลอดเลือดดำที่ใหญ่ขึ้นเป็นลำดับจนถึง vena cava (superior vena cava และ inferior vena cava) ซึ่งนำเลือดเข้าสู่หัวใจ

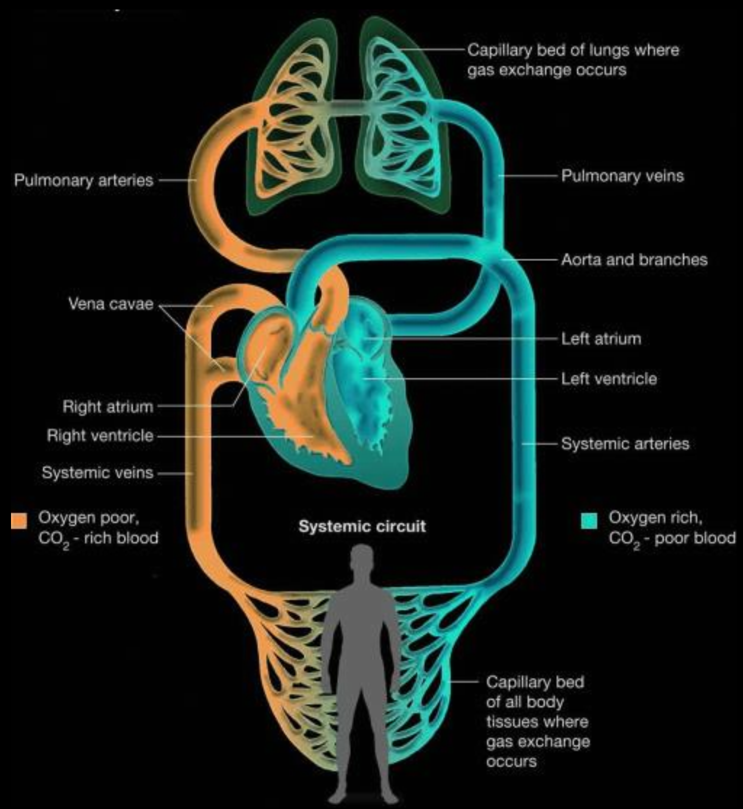
ผนังหลอดเลือดดำเล็ก มีความหนามากกว่าผนังของหลอดเลือดฝอยเพียงเล็กน้อย ไม่มีเนื้อเยื่ออิลาสติก และไม่มีกล้ามเนื้อเรียบ การแลกเปลี่ยนสารระหว่างเลือดกับเนื้อเยื่อจึงอาจเกิดแลกเปลี่ยนสารผ่านผนังของหลอดเลือดได้ สำหรับหลอดเลือดดำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมีเนื้อเยื่ออิลาสติก และกล้ามเนื้อเรียบเล็กน้อย การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่ผนังทำให้หลอดเลือดดำเหล่านี้ตีบและขยายได้น้อยกว่าของหลอดเลือดแดงที่มีขนาดเท่าๆ กัน

ผนังหลอดเลือดดำต่างๆ มีคุณสมบัติถูกยืดขยายได้ง่าย แม้จะใช้แรงดันต่ำๆ จึงสามารถจุเลือดได้เป็นจำนวนมาก เลือดทั้งหมดในร่างกายประมาณ 60-70% จะอยู่ในส่วนของหลอดเลือดดำเหล่านี้

## 3.2 การไหลเวียนเลือดในร่างกาย (Blood circulation)

การไหลเวียนเลือดในร่างกายเกิดขึ้นเพื่อนำสารอาหาร และสารต่างๆ ไปยังเซลล์ทั่วร่างกาย และพาของเสียจากเซลล์เหล่านั้นไปยังอวัยวะที่ทำหน้าที่กำจัดออก การไหลเวียนเลือดเกิดจากการบีบตัวของหัวใจซึ่งก่อให้เกิดแรงดันขับเคลื่อนเลือดให้ไหลไปตามหลอดเลือดต่างๆ

การไหลเวียนเลือดในร่างกายแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ การไหลเวียนเลือดในร่างกายแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ Systemic circulation และ Pulmonary circulation



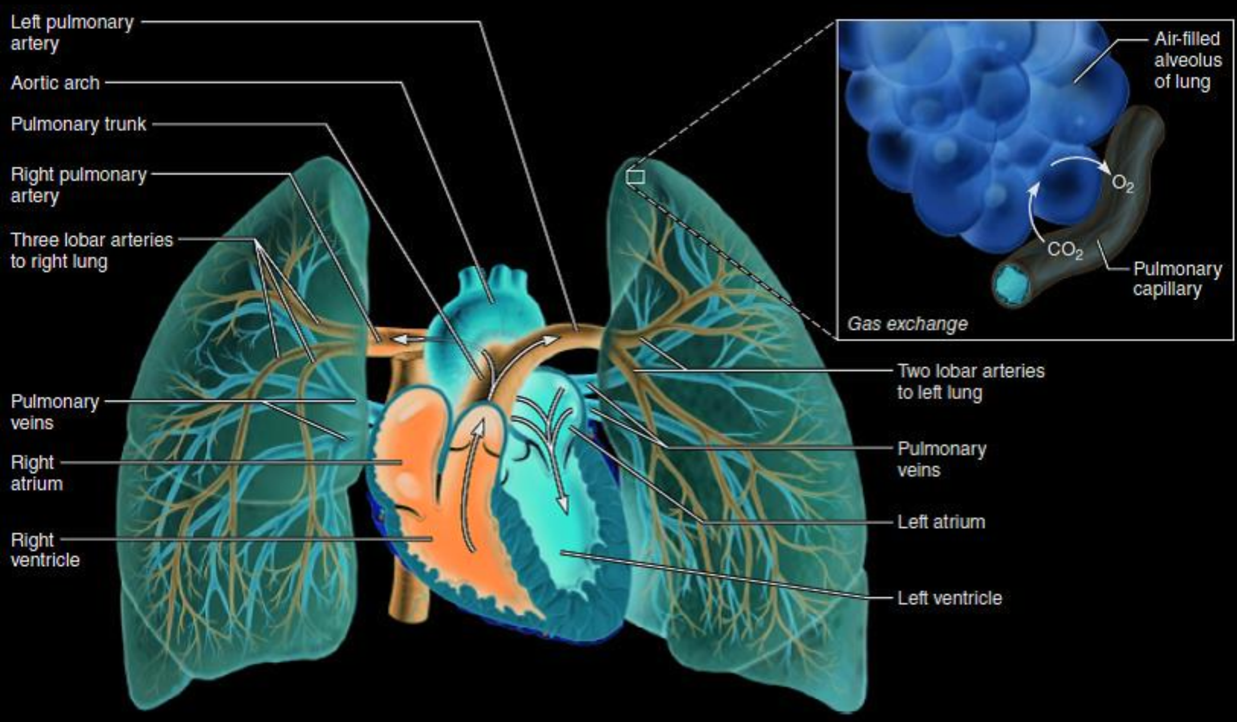

รูปที่ 8-32 แสดงระบบการไหลเวียนเลือดในร่างกาย แบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ Systemic circulation และ Pulmonary circulation

**3.2.1 Pulmonary circulation** หมายถึง การไหลเวียนเลือดผ่านปอด เลือดจากส่วนต่างๆ ของร่างกายและจากผนังของหัวใจเอง จะเข้าสู่ right atrium ผ่าน right atrioventricular valve เข้าสู่right ventricle ผ่าน pulmonary semilunar valve เข้าสู่ pulmonary artery ผ่านแขนงของ pulmonary artery เข้าสู่ pulmonary capillaries ภายในปอดเลือดจะมีการวับออกซิเจน และถ่ายคาร์บอนไดออกไซด์ (Oxygenated) วงจรนี้เรียกว่า Pulmonary circulation

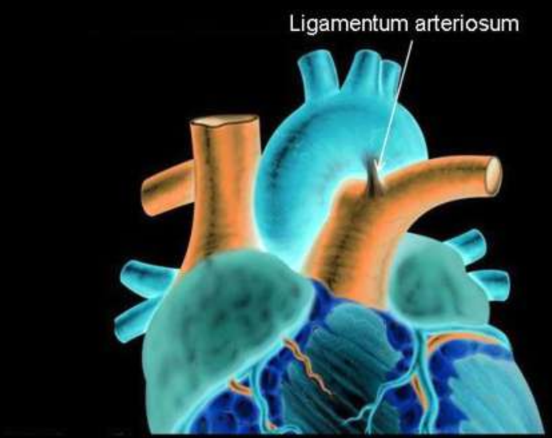
Pulmonary artery ที่ออกจาก right ventricle จะแบ่งออกเป็น right และ left pulmonary artery, Right pulmonary artery จะทอดไปสู่ขั้วปอดแล้วแยกเป็น 3 แขนง ทอดเข้าสู่แต่ละกลีบ (lobe) ของปอดขวาส่วน Left pulmonary artery จะสั้นกว่าข้างขวา ทอดไปสู่ขั้วปอดแล้วแยกเป็น 2 แขนง เข้าสู่แต่ละกลีบของปอดด้วย

ที่ส่วนบนของ pulmonary artery จะพบ Ligamentum arteriosum เป็นเอ็นสั้นๆ ทอดไปสู่ส่วนล่างของ aortic arch เอ็นนี้เป็นส่วนเหลือของ Ductus arteriosus ซึ่งในทารกที่อยู่ในครรภ์เป็นทางผ่านของเลือดจากหัวใจข้างขวาไปสู่ aorta โดยเลือดไม่ผ่านปอด

เลือดจากหลอดเลือดแดงที่เข้าสู่ปอดจะไปตาม pulmonary capillaries แล้วรับออกซิเจน พร้อมกับถ่ายคาร์บอนไดออกไซด์ออก จากนั้นเลือดจะผ่านเข้าสู่หลอดเลือดดำเล็กๆ จำนวนมาก หลอดเลือดดำเล็กเหล่านี้ จะรวมกันเป็น pulmonary vein จะมี pulmonary vein ออกจากปอดข้างละ 2 เส้น และไปเปิดเข้า left atrium




รูปที่ 8-33 แสดงการไหลเวียนเลือดผ่านปอด (Pulmonary circulation)

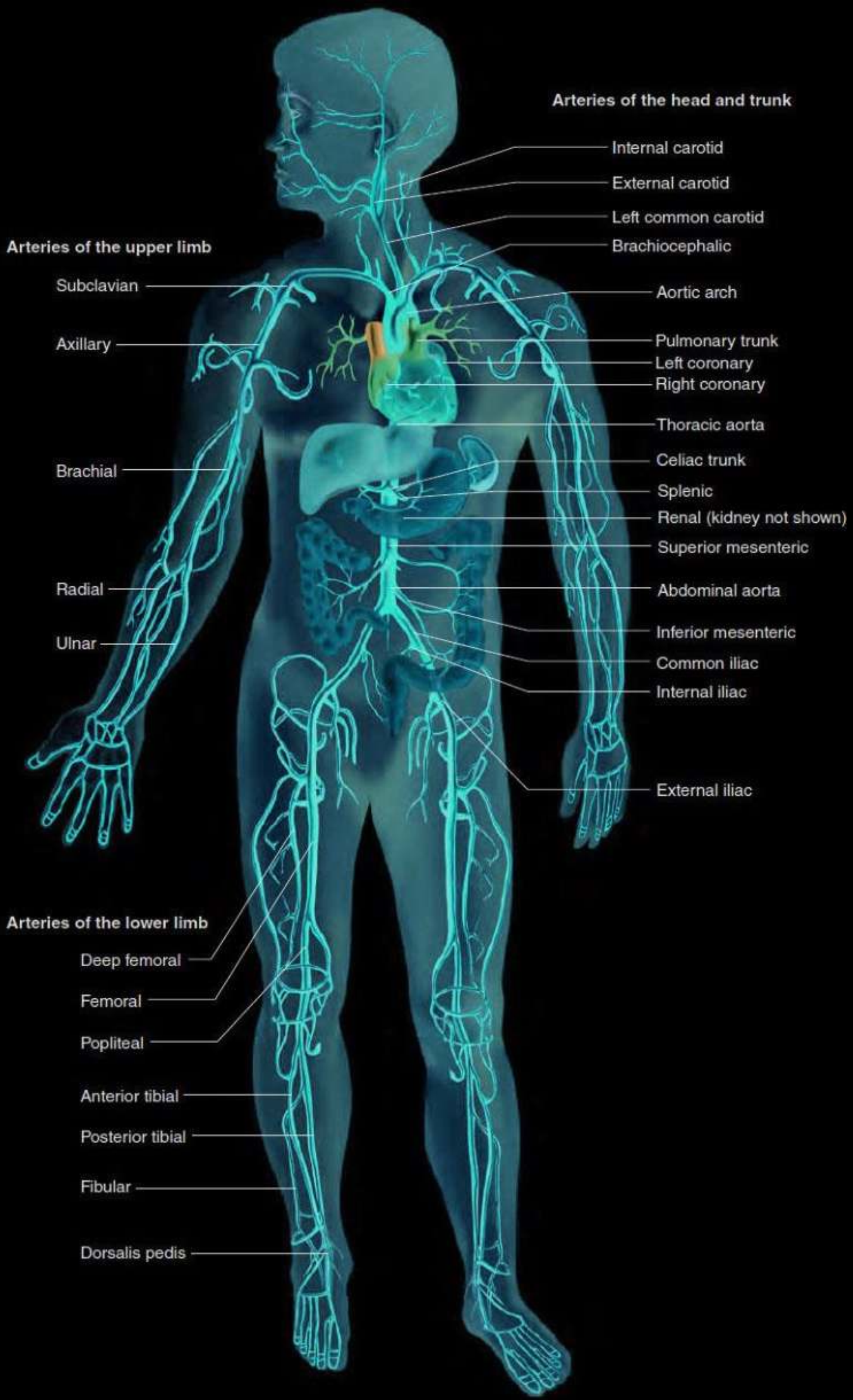



รูปที่ 8-34 แสดง Ligamentum arteriosum

**3.2.2 Systemic circulation** เป็นการไหลเวียนทั่วร่างกาย ยกเว้นปอด เริ่มจาก left ventricle ผ่านหลอดเลือดแดง aorta, artery, arteriole, capillary, venule และ vein ตามลำดับ แล้วเข้าสู่หัวใจทาง right ventricle

ในบทเรียนนี้ จะได้กล่าวถึง กายวิภาคของหลอดเลือดแดงของการไหลเวียนส่วนกาย (Artery of the systemic circulation) และ หลอดเลือดดำของการไหลเวียนส่วนกาย (Veins of the systemic circulation)

**หลอดเลือดแดงของการไหลเวียนส่วนกาย**
**(Artery of the systemic circulation)**




รูปที่ 8-35 แสดงหลอดเลือดแดงของ Systemic circulation

## หลอดเลือดแดงของอกและท้อง

**Aorta** เป็นหลอดเลือดแดงที่ใหญ่ที่สุดของร่างกายมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว เริ่มต้นต่อจาก left ventricle โดยที่จุดเริ่มต้นของ aorta นี้จะมีลิ้นกั้นอยู่ เรียกว่า aortic semilunar vale เพื่อป้องกันการไหลกลับของเลือดเข้า left ventricle ในขณะที่หัวใจคลายตัว aorta แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ascending aorta, arch of aorta, thoracic aorta และ abdominal aorta

**1. Ascending aorta** เป็นหลอดเลือด aorta ส่วนต้น ยาวประมาณ 2 นิ้ว ต่อมาจาก left ventricle ที่ aorta ส่วนนี้จะมีหลอดเลือดแดงแตกแขนงออกมา 2 เส้น ได้แก่ right coronary artery และ left coronary artery เพื่อไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจ

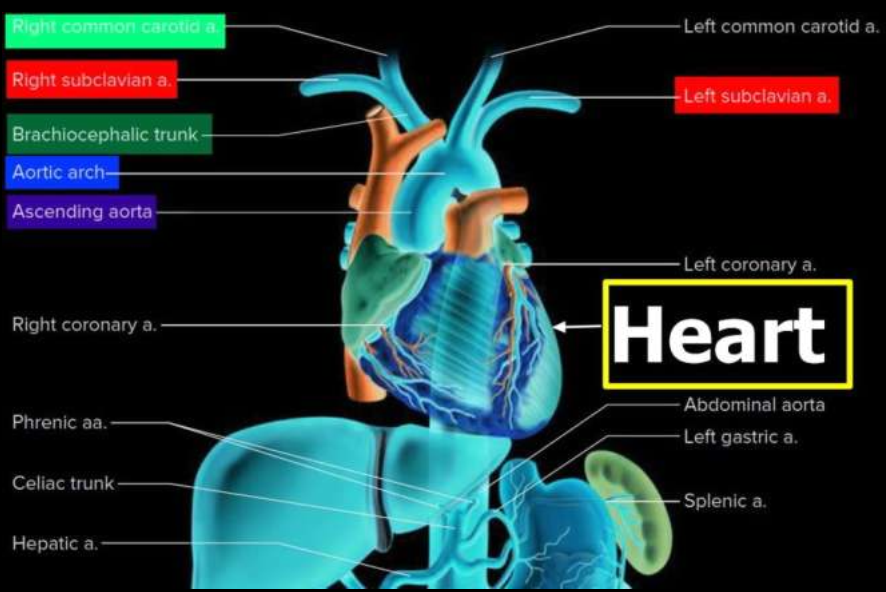
**2. Arch of aorta** เป็นหลอดเลือดส่วนที่ต่อมาจาก ascending aorta มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง ยาวประมาณ 2 นิ้ว หลอดเลือดนี้แตกแขนงออกไป 3 แขนง คือ brachiocephalic trunk (artery), left common carotid artery และ left subclavial artery

**2.1 Brachiocephalic trunk (Artery)** เป็นแขนงที่อยู่ทางขวาสุด มีขนาดใหญ่ที่สุด ซึ่งต่อมาจะแตกออกเป็น 2 เส้น คือ right subclavial artery และ right common carotid artery

**2.1.1 Right subclavial artery** จะแยกออกจาก brachiocephalic trunk บริเวณกระดูกซี่โครงซี่แรก ลอดผ่านกระดูกไหปลาร้าไปยังรักแร้ เพื่อเลี้ยงแขนและก่อนที่จะถึงรักแร้จะมีการแตกแขนงเล็ก ๆ ออกไปเป็น right vertebral artery ผ่านขึ้นไปทางรูของ transverse process ของกระดูกสันหลังส่วนคอ เพื่อไปเลี้ยงสมอง

**2.1.2 Right common carotid artery** แยกจาก brachiocephalic trunk บริเวณกระดูกซี่โครงซี่แรกเช่นกัน แล้วผ่านขึ้นไปที่คอจนถึงบริเวณริมขอบของกล่องเสียง จะแตกออกเป็นออกเป็น 2 เส้น คือ right external carotid artery และ right internal carotid artery โดย right external carotid artery จะไปเลี้ยงต่อมไทรอยด์, ลิ้น, คอ, หน้า, หู และผิวหนังบริเวณกะโหลกศีรษะ ส่วน right internal carotid artery จะไปเลี้ยงสมอง ตา และศีรษะด้านขวา

**2.2 Left common carotid artery** อยู่ตรงกลาง ทอดขึ้นสู่คอทางด้านซ้าย จากนั้นแตกแขนง เช่นเดียวกันกับ right common carotid artery ทุกอย่างเพียงแต่ว่าสลับด้าน ซ้าย-ขวา เท่านั้น




รูปที่ 8-36 แสดงหลอดเลือดแดง aorta และแขนง

**2.3 Left subclavial artery** อยู่ซ้ายสุด ลอดผ่านกระดูกไหปลาร้าไปยังรักแร้ซ้าย และมีการแตกแขนงเช่นเดียวกับ right subclavial artery

**3. Thoracic aorta (aorta ในช่องอก)** เป็นหลอดเลือดแดงที่ต่อมาจาก arch of aorta ยาวประมาณ 8 นิ้ว เริ่มต้นบริเวณระดับกระดูกสันหลังส่วนอกท่อนที่ 4-5 (T4-5) ค่อนมาทางด้านซ้ายของแนวกระดูกสันหลัง ทอดตัวลงสู่ด้านล่างและส่วนสุดท้ายจะแทงทะลุกระบังลมเข้าสู่ช่องท้องบริเวณระดับกระดูกสันหลังส่วนอกท่อนที่ 12 (T12) ต่อกับกระดูกสันหลังส่วนเอวท่อนที่ 1 (L1) สิ้นสุดโดยทอดผ่านกะบังลมทาง aortic opening ลงสู่ช่องท้อง โดยตลอดความยาวของ thoracic aorta จะมีหลอดเลือดแตกแขนงออกไปเลี้ยงอวัยวะบริเวณทรวงอก คือ

| | |
|---|---|
| - Pericardial artery | ไปเลี้ยงเยื่อหุ้มหัวใจ |
| - Bronchial artery | ไปเลี้ยงหลอดลม |
| - Esophageal artery | ไปเลี้ยงหลอดอาหาร |
| - Mediastinum artery | ไปเลี้ยงเนื้อกลางอก |
| - Subcostal artery | ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อระหว่างซี่โครง |
| - Superior phrenic artery | ไปเลี้ยงกระบังลมด้านหลังส่วนบน |

**4. Abdominal aorta (aorta ในช่องท้อง)** เริ่มจาก aorta ที่ทะลุผ่านกระบังลม ซึ่งจะให้แขนงต่างๆ คือ

| | |
|---|---|
| - Phrenic artery | ไปเลี้ยงกะบังลมทางด้านล่าง |
| - Celiac trunk | ไปเลี้ยงกระเพาะอาหาร, ลำไส้เล็กส่วนต้น, ตับอ่อน, ตับ, ม้าม และถุงน้ำดี |
| - Middle suprarenal artery | ไปเลี้ยงต่อมหมวกไต |
| - Lumbar artery มี 4 คู่ | ไปเลี้ยงผนังช่องท้องด้านหลัง |
| - Superior mesenteric artery | ไปเลี้ยงลำไส้เล็ก, ลำไส้ใหญ่ส่วน ascending colon และ ครึ่งทางขวาของ transverse colon |
| - Renal artery | ไปเลี้ยงไต |
| - Testicular artery | ไปเลี้ยงลูกอัณฑะในเพศชาย, ovarian artery ไปเลี้ยงรังไข่ในเพศหญิง |
| - Inferior mesenteric artery | ไปเลี้ยงลำไส้ใหญ่ส่วนครึ่งซ้ายของ transverse colon, descending colon, sigmoid colon และส่วนต้นของ rectum |
| - Middle sacral artery | ไปเลี้ยงกระเบนเหน็บ และกล้ามเนื้อบริเวณนั้น |
| - Common iliac artery | เป็นแขนงปลายสุดของ abdominal aorta ซึ่งจะแยกให้แขนงไป เลี้ยงอวัยวะภายในอุ้งเชิงกราน และขาทั้งหมด |

## หลอดเลือดแดงของเชิงกราน

### Common iliac artery

แยกออกจาก abdominal aorta ที่กระดูกสันหลังระดับ L4 แล้วทอดไปยัง sacroiliac joint แยกออกเป็น external และ internal iliac arteries

**Internal iliac artery**

ทอดลงไปตามด้านข้างของผนังอุ้งเชิงกราน และให้แขนงหลอดเลือด superior และ inferior gluteal artery ไปเลี้ยงบริเวณก้น, obturator artery ไปเลี้ยงต้นขา, internal pudendal artery ไปเลี้ยงบริเวณฝีเย็บ, แขนง vesical artery ไปเลี้ยงกระเพาะปัสสาวะ, rectal artery ไปเลี้ยงลำไส้ตรงและทวารหนัก ในเพศหญิงให้ uterine และ vaginal artery ไปเลี้ยงมดลูกและช่องคลอด

**External iliac Artery**

จะทอดไปบนกล้ามเนื้อ psoas แล้วลอดผ่านใต้ inguinal ligament ได้ชื่อใหม่ว่า Femoral artery จะไปสู่ขา external iliac จะให้แขนงชื่อ inferior epigastric artery ไปเลี้ยงส่วนล่างของผนังของช่องท้อง

## หลอดเลือดแดงของขา (Arteries of Lower Extremities)

หลอดเลือดเลือดของขาที่ควรรู้จัก ได้แก่

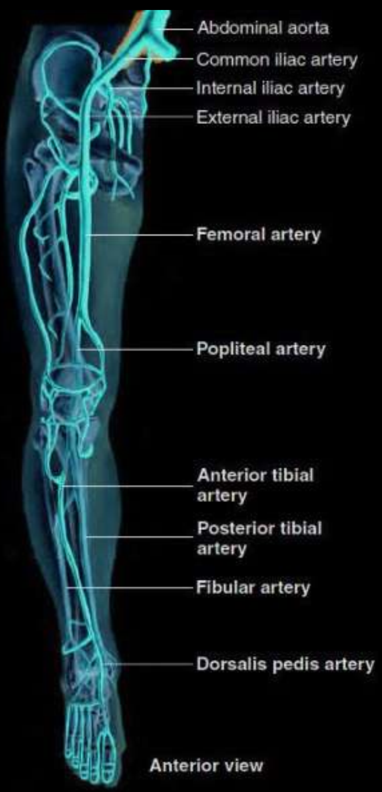
**Femoral artery**

เป็นเส้นเลือดแดงหลักที่ไปเลี้ยงอุ้งเชิงกราน เป็นส่วนต่อของ external iliac artery โดยจะเริ่มต้นจากจุดที่เส้นเลือดนี้ผ่านผนังช่องท้องออกมา เส้นเลือดนี้วิ่งมาในแนวกลางของขา ความสำคัญทางคลินิกคือ เป็นบริเวณที่ใช้จับชีพจร นอกจากนี้ femoral artery ยังใช้เป็นที่ใส่สายสวนหัวใจ (angiocardiography)

**Dorsalis pedis artery**

จะทอดอยู่บนหลังเท้าจากกึ่งกลางข้อเท้าถึงส่วนต้นของ first intermetatarsal space แล้วทอดลึกลงไปในฝ่าเท้าไปประกอบเป็น plantar arterial arch แขนงของหลอดเลือดเส้นนี้จะเลี้ยงหลังเท้าและนิ้วเท้า

**อื่นๆ** ได้แก่ Popliteal artery, Anterior tibial artery, Posterior tibial artery, Medial plantar artery, Lateral plantar artery, Plantar arterial arch




รูปที่ 8-37 แสดงหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงขาและเท้า

## หลอดเลือดแดงที่ศีรษะและคอ (Arteries of Head and Neck)

### Common carotid artery

ข้างซ้ายเป็นแขนงของ arch of aorta ข้างขวาเป็นแขนงของ brachiocephalic artery จะทอดขึ้นไปสู่คอ ถึงระดับ upper border ของ thyroid cartilage artery จะแยกให้แขนง คือ External และ Internal carotid arteries

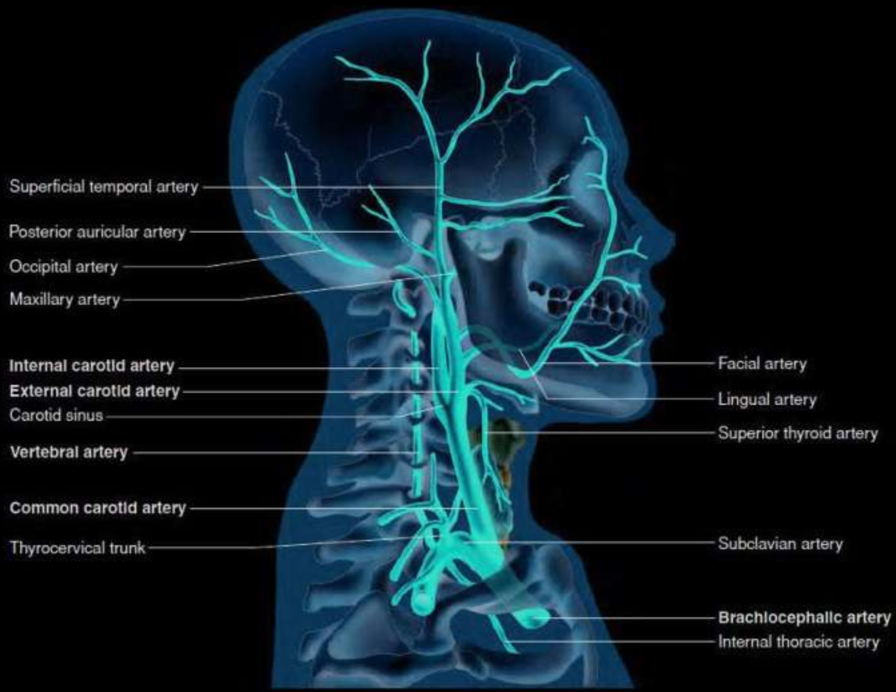
### Internal carotid artery

ทอดขึ้นไปในส่วนลึกของคอจนถึงฐานกะโหลก แล้วเข้าสู่ carotid canal เพื่อเข้าไปภายในกะโหลกศีรษะ แล้วแยกแขนงออกเพื่อเลี้ยงเยื่อหุ้มสมอง, สมอง, ตา และหูส่วนใน

### External carotid artery

ทอดขึ้นไปยังมุมกระดูกกรามล่าง แล้วเข้าสู่ต่อมน้ำลายพาโรติด (parotid gland) ภายในต่อมน้ำลายที่ระดับของหูจะแยกให้แขนง ดังนี้

1. Superior thyroid artery ไปเลี้ยงต่อมไทรอยด์และกล่องเสียง
2. Lingual artery ไปเลี้ยงลิ้น
3. Occipital artery ไปเลี้ยงส่วนหลังของหนังศีรษะ




รูปที่ 8-38 แสดงหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงศีรษะและคอ

## หลอดเลือดแดงที่แขน

### Subclavian artery

ข้างซ้ายออกจาก arch of aorta ข้างขวาออกจาก brachiocephalic artery ทอดโค้งไปเหนือกระดูกไหปลาร้าเล็กน้อย ข้ามซี่โครงคู่ที่ 1 ต่อจากนั้นเรียกชื่อใหม่ว่า axillary artery ซึ่งจะทอดไปสู่แขน

**Axillary artery**

เป็นหลอดเลือดแดงที่ต่อมาจาก subclavian artery แล้วทอดตัวมาสู่บริเวณรักแร้

**Brachial artery**

เป็นหลอดเลือดแดงที่ต่อมาจาก axillary artery ทอดตัวผ่านต้นแขนลงสู่ข้อศอก ต่อจากนั้น Brachial artery จะแตกแขนงออกเป็น 2 เส้น คือ radial และ ulnar artery

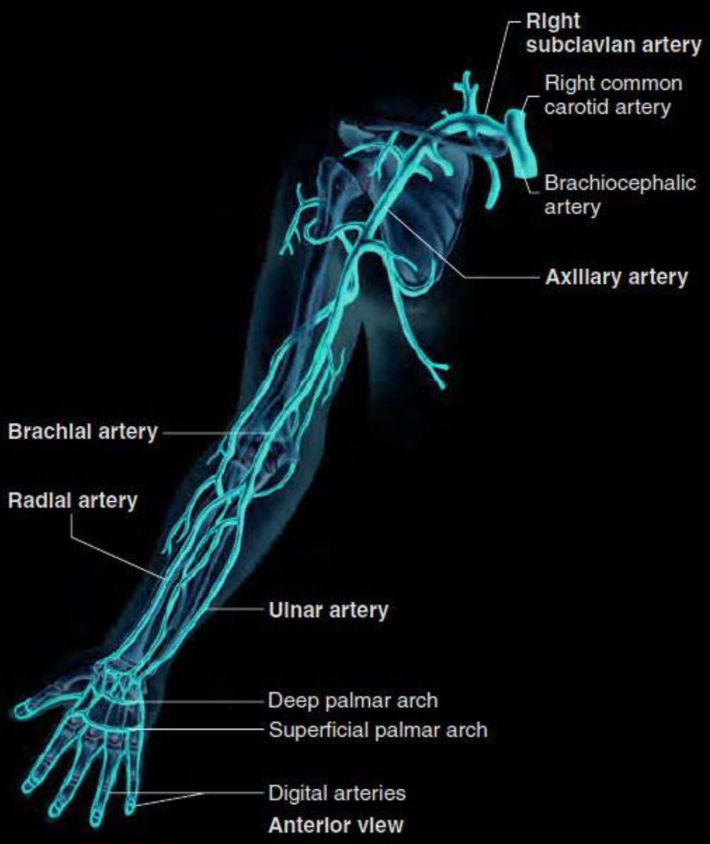
**Radial artery**

จะทอดตัวลงสู่ฝ่ามือตามแนวของกระดูก radius (ด้านนิ้วหัวแม่มือ)

**Ulnar artery**

จะทอดตัวลงสู่ฝ่ามือตามแนวของกระดูก ulna (ด้านนิ้วก้อย)

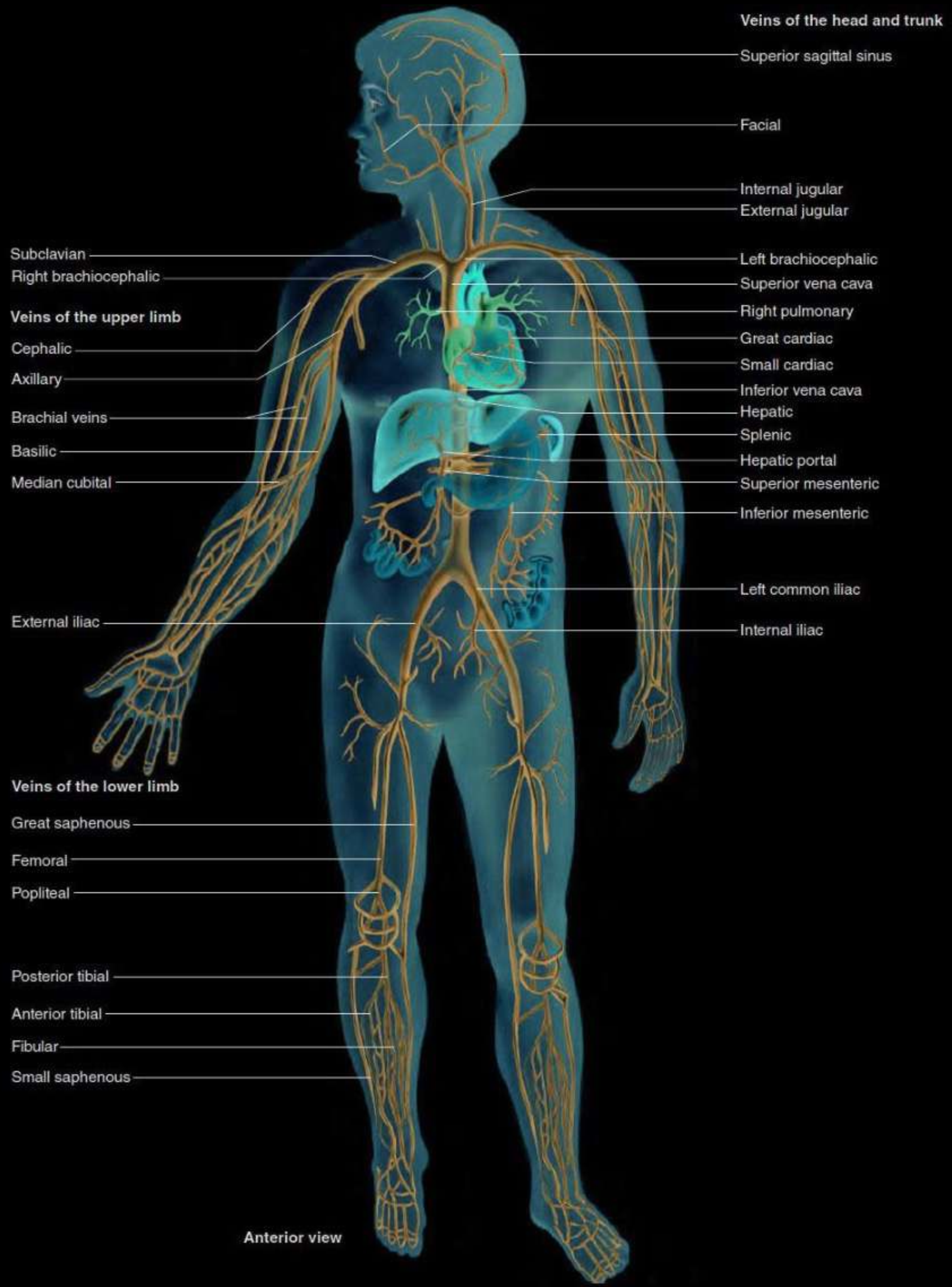
ทั้ง radial artery และ ulnar artery เมื่อทอดตัวลงมาถึงบริเวณฝ่ามือจะเชื่อมต่อกันเป็น superficial palmar arch และ deep palmar arch ซึ่งต่อมาจะมีแขนงแตกออกไปเลี้ยงนิ้ว เรียกว่า digital artery




รูปที่ 8-39 แสดงหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงแขน และมือ

## หลอดเลือดดำของการไหลเวียนส่วนกาย
## (Veins of the systemic circulation)

เลือดเมื่อผ่านไปถึงหลอดเลือดฝอยแล้วก็จะเข้าสู่หลอดเลือดดำเส้นเล็กๆ จากนั้นค่อยๆ รวมกันเป็นหลอดเลือดดำขนาดใหญ่ขึ้นและกลับเข้าหัวใจ หลอดเลือดดำส่วนมากจะทอดคู่ไปกับหลอดเลือดแดง มีชื่อเรียกคล้ายๆ กัน




รูปที่ 8-40 แสดงหลอดเลือดดำของร่างกาย

เลือดดำจะกลับเข้าสู่ Right atrium จากหลอดเลือดดำ 3 เส้น คือ coronary sinus, superior vena cava และ inferior vena cava ดังนี้

**1. Coronary sinus** จะรับเลือดทั้งหมดจากกล้ามเนื้อหัวใจ โดย coronary sinus จะอยู่บริเวณ coronary sulcus แล้วไปเปิดเข้าสู่ right atrium บริเวณระหว่างรูเปิดของ inferior vena cava กับ tricuspid valve

**2. Superior vena cava (SVC)** ยาวประมาณ 3 นิ้ว จะรับเลือดจากส่วนบนของร่างกายซึ่งผ่านมาตาม right และ left brachiocephalic vein เข้าสู่ right atrium ดังนี้

- หลอดเลือดดำจากสมอง หน้าและคอส่วนลึกจะมารวมกันเป็น internal jugular vein
- หลอดเลือดดำจากศีรษะและหน้าส่วนตื้นจะมารวมกันเป็น external jugular vein แล้วไป เทเข้า subclavian vein
- หลอดเลือดดำจากแขน จะรวมเป็น axillary vein แล้วเทเข้า subclavian vein
- subclavian vein และ internal jugular vein รวมกันเป็น brachiocephalic (Innominate) vein
- brachiocephalic vein ทั้ง 2 ข้างรวมกันเป็น superior vena cava เข้าสู่ right atrium

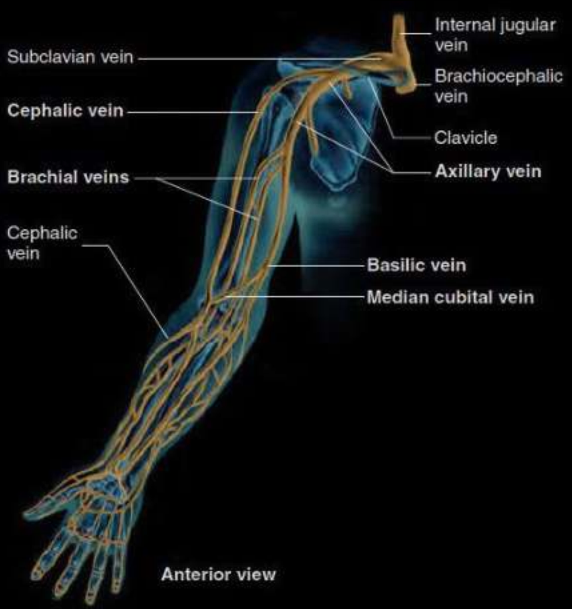
**3. Inferior vena cava (IVC)** เป็นหลอดเลือดดำที่ใหญ่ที่สุดในร่างกายมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 นิ้ว ทอดคู่กับ abdominal aorta ขึ้นไปข้างบนเข้าสู่ right atrium หลอดเลือด Inferior vena cava เริ่มต้น ดังนี้

- หลอดเลือดดำจากขาทั้งหมดรวมกันเป็น femoral vein แล้วเข้า external iliac vein
- เลือดดำจากอวัยวะภายในช่องเชิงกรานทั้งหมดก็รวมกันเป็น internal iliac vein
- ทั้ง external และ internal iliac vein รวมกันเข้าเป็น common iliac vein
- common iliac vein ทั้ง 2 ข้างรวมกันเป็น inferior vena cava

ระหว่างทางจะมี lumbar vein, right spermatic (right ovarian vein ในหญิง), renal vein, inferior phrenic vein และ hepatic vein มาเทเข้าด้วย สำหรับ inferior vena cava อาจจะถูกเบียดกดในช่วงตั้งครรภ์ระยะท้าย ๆ จากการขยายของมดลูก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการบวมที่เท้าและข้อเท้าและเกิดเส้นเลือดขอดชั่วคราวได้

## หลอดเลือดดำที่แขนและมือ

หลอดเลือดดำที่แขนซึ่งรับเลือดดำจากแขนกลับสู่หัวใจนั้น จะมีการวางตัวคล้ายกับของหลอดเลือดแดง แต่จะมีแขนงกลุ่มของหลอดเลือดดำชั้นตื้น (superficial veins) เพิ่มขึ้นมา เพื่อช่วยรับเลือดกลับสู่หัวใจ คือ




รูปที่ 8-41 แสดง Veins ของแขนและมือ

**- Cephalic vein** เริ่มจากฝ่ามือทอดขึ้นมาตามริมขอบกระดูก radius เมื่อมาถึงข้อพับแขนจะมีหลอดเลือดดำ medial cubital vein เป็นตัวมาเชื่อมต่อเพื่อไปเชื่อมต่อกับหลอดเลือด basilic vein (หลอดเลือด medial cubital vein นี้ มักจะใช้ในการเจาะเลือดเพื่อไปทำการตรวจวิเคราะห์ต่างๆ) ส่วนปลายของ cephalic vein จะนำเลือดไปเปิดลงสู่ axillary vein ต่อไป

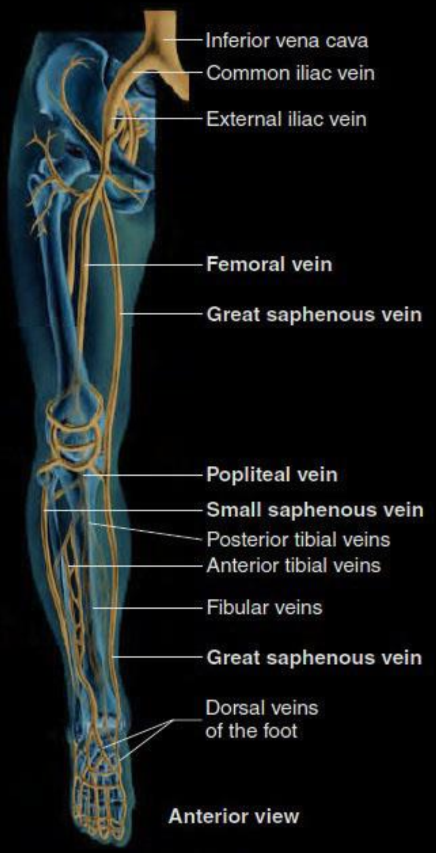
**- Basilic vein** เริ่มต้นบริเวณฝ่ามือเช่นเดียวกันแล้วทอดขึ้นมาตามแนวกระดูก ulna เมื่อมาถึงบริเวณข้อพับแขนจะมีหลอดเลือด medial cubital vein ซึ่งเชื่อมต่อกับ cephalic vein มาเปิดเข้า โดยส่วนปลายของ basilic vein จะไปรวมกับ brachial vein แล้วกลายเป็น axillary vein

### หลอดเลือดดำที่ขาและเท้า

หลอดเลือดดำที่ขาจะมีการวางตัวเช่นเดียวกับหลอดเลือดแดงที่ขา แต่จะมีหลอดเลือดดำ Superficial vein เพิ่มขึ้นมาเพื่อรับเลือดที่ชั้นตื้น ๆ คือ

- Great saphenous vein เป็นหลอดเลือดดำที่ยาวที่สุดในร่างกาย เริ่มต้นบริเวณฝ่าเท้า ทอดตัวมาทางด้านตาตุ่มด้านในขึ้นสู่น่อง และนำเลือดไปเปิดลงสู่ Femoral vein

- Small saphenous vein เริ่มจากบริเวณฝ่าเท้าทอดตัวขึ้นมาทางด้านหลังขาแล้วนำเลือดไปเปิดลงสู่ Popliteal vein ซึ่งอยู่ด้านหลังเข่า




รูปที่ 8-42 แสดง Veins ของขาและเท้า

## ระบบปอร์ตัล (Portal circulation)

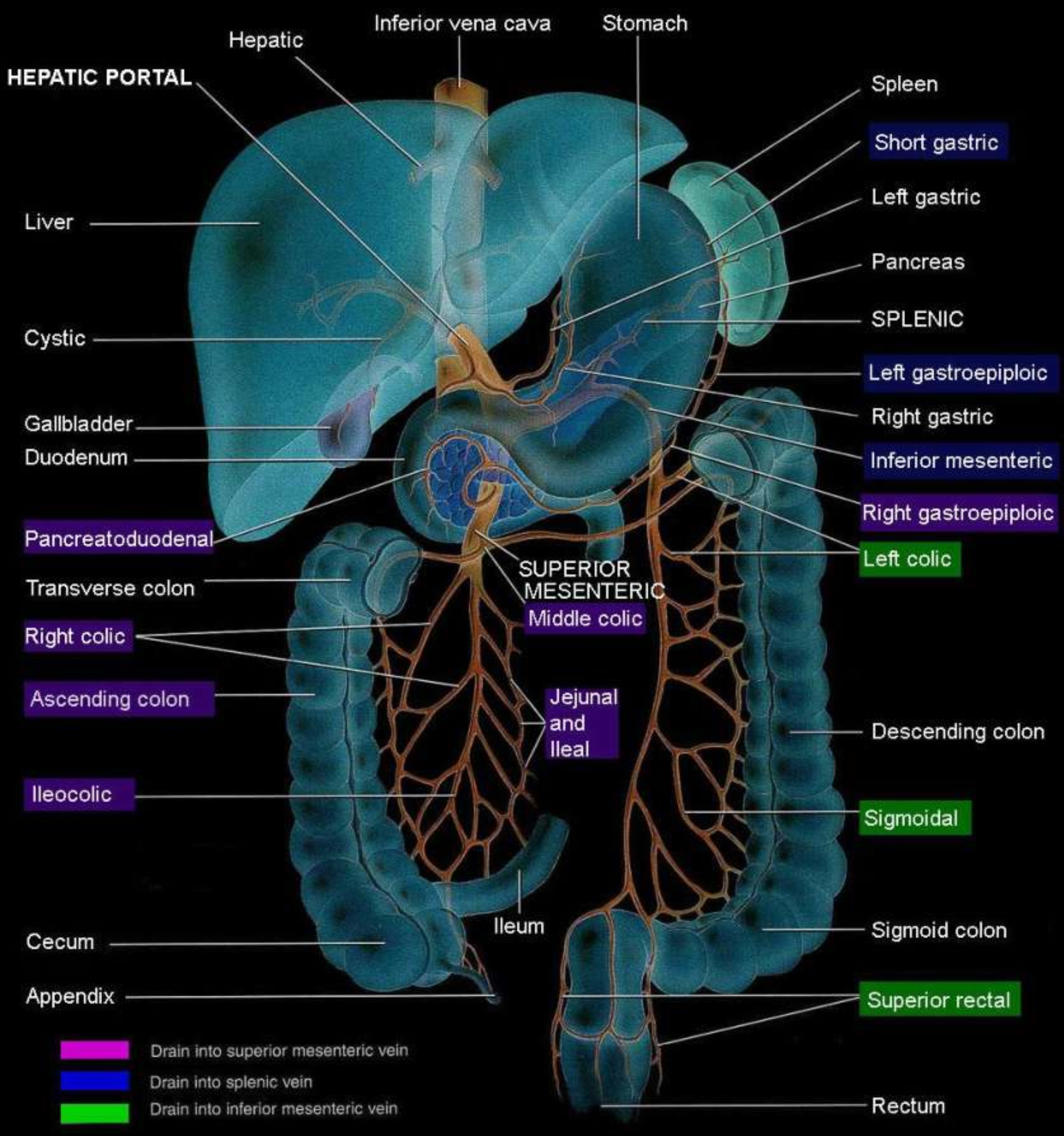
หมายถึง หลอดเลือดดำ ที่นำเลือดดำจากระบบทางเดินอาหารไปยังตับ เนื่องจากเลือดดำจากทางเดินอาหารมีอาหารที่ย่อยแล้วและถูกดูดซึมมาอยู่ในกระแสเลือด เมื่อเลือดนี้ผ่านตับสารบางอย่างที่ดูดซึมเข้ามาไม่เหมาะต่อร่างกาย จะถูกตับเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมแก่ร่างกาย แล้วจึงจะผ่านจากตับทาง Hepatic veins เข้าสู่ inferior vena cava ต่อไป

### Portal vein

เป็นหลอดเลือดดำที่จะเข้าสู่ตับ แล้วแตกแขนงเล็กๆ ออกไปเป็น sinusoids ภายในตับ จากนั้น หลอดเลือดดำจะค่อยๆ รวมกันเป็น Hepatic veins ออกจากตับต่อไป Portal vein เกิดจากการรวมของ Superior mesenteric vein และ Splenic vein และยังมี Right gastric, Left gastric vein มาเทเข้าด้วย

Superior mesenteric vein นำเลือดดำมาจากลำไส้เล็กและครึ่งขวาของลำไส้ใหญ่

Splenic vein นำเลือดดำมาจากม้าม ตับอ่อน กระเพาะอาหาร และลำไส้ใหญ่ส่วนที่เหลือทั้งหมด




รูปที่ 8-43 แสดงการไหลเวียนเลือดในระบบปอร์ตัล

## 3.3 ความดันเลือด (Blood pressure)

การบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจจะมีผลเพิ่มความดันเลือดในหัวใจ ทำให้ลิ้นหัวใจเปิดออกสู่หลอดเลือด ความดันเลือดในหลอดเลือดแดงใหญ่ทั้ง aorta และ pulmonary artery สูงขึ้น ทำให้เกิดการไหลของเลือดไปตามหลอดเลือดต่างๆ

### 3.3.1 ความดันเลือดแดง (Arterial blood pressure)

ความดันเลือดในหลอดเลือดแดงใหญ่ เช่น aorta และ arteries ต่างๆ จะปรากฏเป็นคลื่นสูงต่ำเป็นจังหวะตามการเต้นของหัวใจ ความดันสูงสุดเกิดขึ้นขณะหัวใจบีบตัว เรียกว่า **Systolic blood pressure (SBP)** ความดันต่ำสุดที่ เกิดขึ้นขณะหัวใจคลายตัว เรียกว่า **Diastolic blood pressure (DBP)** ผลต่างของความดันทั้งสอง (คือขนาดของคลื่นความดัน) เรียก **Pulse pressure (PP)**

ความดันเฉลี่ย (mean arterial blood pressure, mABP) มีค่าอยู่ระหว่างความดัน systolic และ diastolic แต่มิใช่ที่ตรงกึ่งกลางระหว่างความดันทั้งสอง เนื่องจากช่วงเวลาการเกิดการคลายตัว มีระยะเวลานานเป็น 2 เท่า ของช่วงเวลาการบีบตัว ดังนั้นค่าแรงดันเฉลี่ยของหลอดเลือดแดง จึงเท่ากับค่า diastolic pressure บวกด้วยเศษหนึ่งส่วนสามของค่า pulse pressure

mABP = 1/3 Pulse pressure + Diastolic

ค่าปกติของ systolic pressure ในคนปกติประมาณ 120 มม.ปรอท และค่า diastolic pressure ประมาณ 80 มม.ปรอท (mmHg) นิยมเขียนค่าแรงดันเลือดเป็น 120/80 มม.ปรอท ตัวเลขแรกคือ systolic pressure ตัวเลขหลังแสดงค่า diastolic pressure

**ปัจจัยที่กำหนดค่าความดันเลือดในคนปกติ**

- Cardiac output คือ ปริมาณของเลือดซึ่งหัวใจส่งเข้าสู่ระบบหลอดเลือดแดงต่อนาที ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงการหดตัวของหัวใจ และอัตราการเต้นของหัวใจ ดังนั้นหากมองในรูปสมการ

Cardiac output (CO) = Stroke volume (SV) x Heart rate (HR)

แต่ทั้งนี้อัตราการเต้นของหัวใจต้องไม่เกิน 180 ครั้ง/นาที ถ้าหัวใจเต้นเร็วเกินขีดจำกัดนี้ ปริมาณเลือดที่ถูกส่งเข้าหัวใจห้องล่างจะลดลงอันเป็นผลให้ cardiac output ลดตามไปด้วย อนึ่ง ปริมาณเลือดไหลเวียนเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่ง ในการทำให้ cardiac output เปลี่ยนแปลงไป ถ้าปริมาณเลือดไหลเวียนเพิ่มขึ้นจนทำให้ cardiac output เพิ่มขึ้น blood pressure จะสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการเสียเลือดก็จะมีผลทำให้ blood pressure ลดลง

Peripheral resistance คือความต้านทานปลายทางของระบบไหลเวียน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่หลอดเลือดแดงขนาดเล็กโดยเฉพาะที่ arteriole ซึ่งนอกจากจะทำให้แรงต้านทานสูง เพราะมีขนาดเล็กแล้ว ยังมีกล้ามเนื้อเรียบล้อมอยู่โดยรอบ ขนาดของหลอดเลือดเล็ก ๆ นี้ ถูกบังคับด้วยกล้ามเนื้อเรียบ (precapillary sphincter) ที่ล้อมรอบอยู่นั้น ถ้ากล้ามเนื้อเรียบที่ผนังหดตัวจะทำให้หลอดเลือดตีบตัวแคบเข้าเรียกว่าเกิด vasoconstriction ตรงกันข้ามถ้ากล้ามเนื้อเรียบคลายตัวหลอดเลือดก็จะขยายตัว เรียกว่า vasodilatation

จากความสัมพันธ์ระหว่าง blood pressure กับ peripheral resistance ดังกล่าวแล้ว จะเห็นว่า ถ้าเกิดการตีบตัวของหลอดเลือด arteriole ทั่วร่างกาย จะทำให้ความต้านทานปลายทางรวม (total peripheral resistance)

เพิ่มขึ้น ย่อมมีผลให้ blood pressure สูงขึ้น ในภาวะตรงกันข้ามถ้ามีการขยายตัวของหลอดเลือด arteriole ทั่ว ๆ ไป ความต้านทานปลายทางรวม ก็จะลดลง Blood pressure ก็จะลดลง

ความหนืด (Viscosity) ของเลือดก็จะทำให้เกิดแรงต้านทานต่อการไหลเวียนของเลือด โดยปกติเลือดจะมีความหนืดเป็น 5 เท่าของน้ำ (4.5-5.5) ถ้าความหนืดของเลือดเพิ่มขึ้น Blood pressure ก็จะเพิ่มขึ้นโดยเหตุผลเดียวกันกับการเพิ่มความต้านทานปลายทางจากหลอดเลือดแดงขนาดเล็ก

สรุป ปัจจัยที่กำหนดแรงดันเลือดในคนปกติสามารถเขียนเป็น สมการได้ ดังนี้

$$BP = CO \times TPR$$

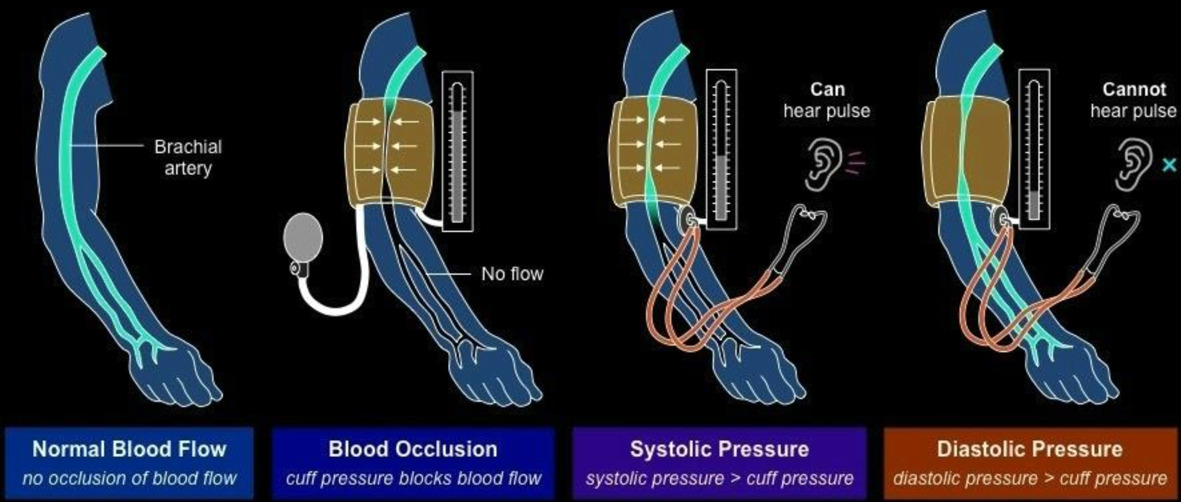
**การวัดความดันเลือดแดง**

ปกติเรามักวัดความดันเลือดแดง เพื่อตรวจสอบสภาวะการทำงานของระบบไหลเวียนเลือดและระบบอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยจะวัดทั้ง systolic pressure และ diastolic pressure ซึ่งสามารถวัดได้ 2 วิธี คือ

**1. วิธีวัดทางตรง** โดยการสอดท่อเข้าไปในหลอดเลือดแดงที่ต้องการวัดแล้วต่อกับเครื่องมือวัดความดันเลือด

**2. วิธีวัดทางอ้อม** โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า **Sphygmomanometer** เริ่มต้นโดยการใช้แผ่นยางที่มีผ้าหุ้ม (cuff) พันรอบต้นแขนเหนือหลอดเลือดแดง **brachial artery** จากนั้นบีบลูกยางเพื่ออัดลมเข้าไปใน cuff จนกว่าความดันภายใน cuff สูงกว่าความดัน systolic pressure ของ brachial artery ส่งผลให้ brachial artery แฟบ เลือดไหลผ่านมาไม่ได้ จากนั้นค่อย ๆ ปล่อยลมจาก cuff ออกช้า ๆ ในเวลาเดียวกันนั้นใช้ stethoscope วางบนหลอดเลือด brachial artery (วิธีนี้เรียกว่าการวัดโดยการฟังเสียง หรือ auscultation method) หรือคลำที่ชีพจรของหลอดเลือด radial artery (วิธีนี้เรียกว่า การวัดโดยการคลำ หรือ palpation method) เมื่อความดันภายใน cuff ลดลง brachial artery ที่อยู่ข้างใต้ซึ่งแฟบอยู่ก็จะเริ่มเปิดออกปล่อยให้เลือดไหลออกด้วยความเร็วสูงจนเกิดกระแสวนทำให้เกิดเสียง เรียกว่า **Korotkoff sound** และผนังหลอดเลือดเกิดเป็นคลื่นชีพจรขึ้น ขณะที่ลดความดันของ cuff ลงเรื่อย ๆ ปริมาณเลือดไหลผ่านหลอดเลือดนั้น จะเริ่มเพิ่มขึ้น จนกระทั่งความดันภายใน cuff ลดลงเท่ากับ diastolic pressure การไหลของเลือดก็จะเต็มที่เสียงที่ได้ยินก็จะหายไป

ค่าในระดับเสียงแรกที่ได้ยินถือว่าเป็นค่า systolic pressure ถ้าใช้วิธีการคลำก็จะตรงกับการเริ่มปรากฏของคลื่นชีพจร (pulse) ค่าในระดับที่เงียบหายไป ถือว่าเป็นค่าของ diastolic pressure แต่ในวิธีการวัดด้วยการคลำ (palpation method) ไม่สามารถวัดค่า diastolic pressure ได้




รูปที่ 8-44 แสดงวิธีการวัดความดันในหลอดเลือดแดงโดยวิธีอ้อม

ค่าความดันเลือดปกติของผู้ใหญ่ ประมาณ 120/80 มม.ปรอท ถ้าวัดความดันเลือดได้ต่ำกว่าปกติ เรียกว่า **ความดันโลหิตต่ำ (hypotension)** หากความดันสูงกว่าปกติเรียก **ความดันโลหิตสูง (hypertension)** ปกติมักพิจารณาว่ามีความดันโลหิตสูงเมื่อความดัน systolic/diastolic สูงเกิน 140/90 มม.ปรอท

### 3.3.2 การไหลเวียนในหลอดเลือดฝอย

หน้าที่ของหลอดเลือดฝอย คือ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนน้ำและโมเลกุลของสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ระหว่างเลือดและเนื้อเยื่อ ถึงแม้ว่าปริมาณเลือดที่อยู่ในหลอดเลือดฝอยมีเพียง 5% ของเลือดที่ไหลอยู่ แต่ต้องนับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดของระบบไหลเวียน เพราะว่าที่ผนังของหลอดลือดฝอยนี้เอง ที่ $O_2$ และอาหารถูกส่งเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ และ $CO_2$ และของเสียถูกส่งเข้าสู่กระแสเลือด นับว่าเป็นหน้าที่สำคัญอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตของเซลล์ทั้งหลายของร่างกาย

วิธีการแลกเปลี่ยนสารที่หลอดเลือดหลอดลือดฝอย

**1. Diffusion (การแพร่)** คือการเคลื่อนที่ของสารที่มีความเข้มข้นสูง ไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า เช่น $O_2$, $CO_2$ และกลูโคส

**2. Pinocytosis** เป็นการเคลื่อนของสารที่มีโมเลกุลใหญ่ และไม่ละลายในไขมันผ่านผนังเซลล์ เช่น โกลบิน และ ไฟบริโนเจน

**3. Filtration (การกรอง)** คือการเคลื่อนที่ของของเหลวผ่านหนังหลอดเลือดฝอย โดย อาศัยความดันต่าง ๆ คือ Hydrostatic pressure และ Oncotic pressure ที่มากระทำต่อผนังของหลอดลือดฝอย ทั้ง 2 ด้าน แรงเหล่านี้ได้แก่

**- Hydrostatic pressure ($P_c$) ของหลอดเลือดฝอย** ซึ่งเกิดจากความดันเลือดในหลอดเลือดฝอยที่พยายามดันของเหลวให้ผ่านออกจากหลอดเลือดฝอย ในส่วนต้นช่วงที่ต่อกับ arteriole (arteriole end) แรงดันมีค่าประมาณ 35 มม.ปรอท และส่วนท้ายที่ต่อกับ venule (venule end) มีค่าประมาณ 15 มม.ปรอท

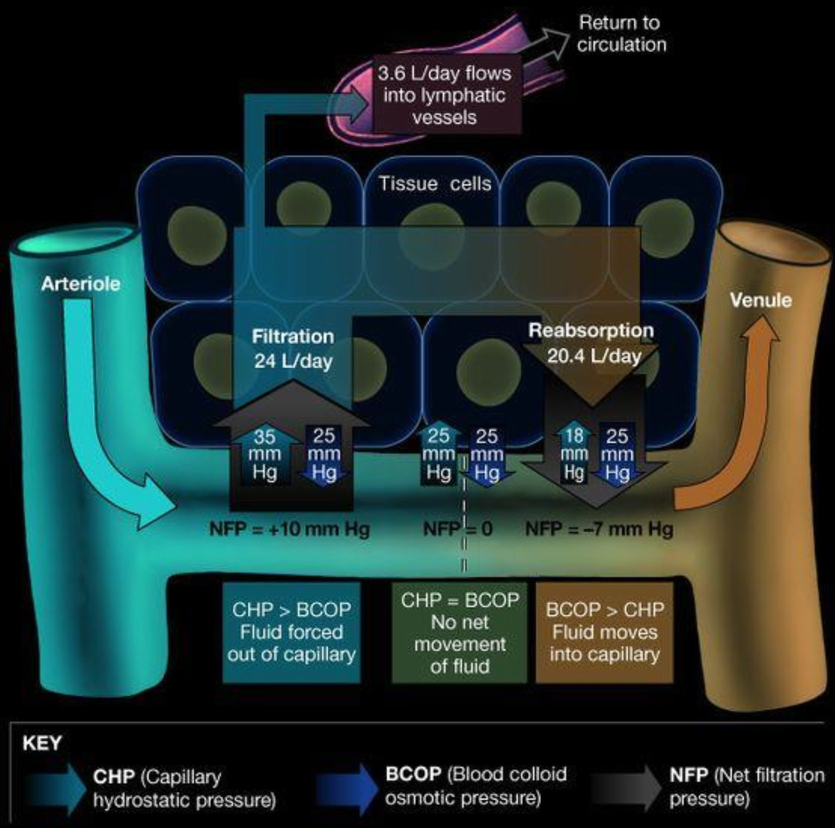
**- Hydrostatic pressure ($P_{IF}$) ของ Interstitial fluid** คือความดันนอกหลอดเลือดฝอย ซึ่งพยายามต้านของเหลวไม่ให้ออกจากหลอดเลือดฝอย มีค่าเท่ากับ 0 มม.ปรอท

**- Oncotic pressure ของ Capillary ($\pi_p$)** เป็นแรงที่คอยดึงของเหลวให้อยู่ภายในหลอดเลือดฝอย เกิดจากโปรตีนที่อยู่ในกระแสเลือด โดยเฉพาะอัลบูมิน ปกติมีค่าประมาณ 28 มม.ปรอท

**- Oncotic pressure ของ Interstitial fluid ($\pi_{IF}$)** เป็นแรงที่ส่งผลช่วยให้ของเหลวในหลอดเลือดออกมาจากภายนอกหลอดเลือดฝอย เกิดจากโปรตีนที่เล็ดลอดผ่านผนังหลอดเลือดฝอย เข้ามาอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์  มีค่าประมาณ 3 มม.ปรอท

ผลต่างของความดันเหล่านี้ (net filtration pressure) ทำให้เกิดการไหลเข้า-ออกของ ของเหลวระหว่างหลอดเลือดฝอย และของเหลวระหว่างเซลล์ จะเห็นว่าส่วนต้นของหลอดเลือดฝอย (arteriole end) มีความดันที่พยายามทำให้ของเหลวไหลออกนอกหลอดเลือด คือ hydrostatic pressure ของหลอดเลือดฝอย = 35 มม.ปรอท ส่วนแรงที่ต้านคือ hydrostatic pressure ของของเหลวระหว่างเซลล์ = 0 มม.ปรอท แรงที่คอยดึงน้ำเข้าหลอดเลือดคือ oncotic pressure ของหลอดเลือดฝอย = 28 มม.ปรอท และแรงที่ต้านการดึงน้ำเข้าหลอดเลือดคือ Oncotic pressure  ของ ของเหลวระหว่างเซลล์ = 3 มม.ปรอท

ดังนั้น net filtration pressure ของหลอดเลือดฝอยส่วนต้น = (35-0) – (28-3) = 10 มม.ปรอท จึงมีแรงที่ดันน้ำออกนอกหลอดเลือดฝอยได้




รูปที่ 8-45 แสดงผลของแรงที่ทำให้เกิดการกรองของสารน้ำที่หลอดเลือดฝอย

ที่ส่วนปลายของหลอดเลือดฝอย (venule end) มีความดันที่พยายามทำให้ของเหลวไหลออกนอกหลอดเลือดฝอย คือ hydrostatic pressure ของหลอดเลือดฝอย = 15 มม.ปรอท ส่วนแรงที่ต้านคือ hydrostatic pressure ของของเหลวระหว่างเซลล์ = 0 มม.ปรอท แรงที่ดึงน้ำเข้าหลอดเลือด คือ Oncotic pressure ของหลอดเลือดฝอย = 28 มม.ปรอท และแรงที่ต้านการดึงน้ำเข้าหลอดเลือด คือ Oncotic pressure ของของเหลวระหว่างเซลล์ = 3 มม.ปรอท

ดังนั้น Net filtration pressure ของหลอดเลือดฝอยส่วนปลาย = (15-0) – (28-3) = -10 มม.ปรอท ซึ่งมีค่าติดลบ น้ำจึงกลับเข้าสู่หลอดเลือดฝอยอีกครั้ง อย่างไรก็ตามปริมาณของเหลวที่เคลื่อนออกจากหลอดเลือดฝอยตอนต้นทางมีปริมาณมากกว่าปริมาณของของเหลวที่เคลื่อนเข้าสู่หลอดเลือดฝอย ด้านปลายทางของเหลวจึงเหลือค้างอยู่บางส่วน ซึ่งจะไหลกลับสู่ระบบไหลเวียนทางท่อน้ำเหลืองขนาดเล็ก ๆ ซึ่งจะค่อย ๆ รวมกันเป็นท่อใหญ่ขึ้นแล้วเข้าสู่หลอดเลือดดำใหญ่ต่อไป

### 3.3.3 ความดันเลือดดำ

หลอดเลือดดำ มีค่าความดันต่ำกว่าในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดฝอยแม้ว่าปริมาตรภายในหลอดเลือดดำจะมากกว่าหลอดเลือดอื่น ๆ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะหลอดเลือดดำมีความสามารถในการยืดขยายได้ดี ในคนนอนราบค่าความดันในหัวใจห้องบนขวามีค่าประมาณ 5 มม.ปรอท ส่วนความดันในหลอดเลือดดำทั่วร่างกาย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 11 ซม.น้ำ เท่านั้น เมื่อลุกขึ้นนั่งหรือยืน ความดันในหัวใจห้องบนขวาจะมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่ความดันในหลอดเลือดดำบริเวณต่าง ๆ ของร่างกายจะมีค่าแตกต่างกันไป เนื่องจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งขึ้นกับความแตกต่างของระดับของหลอดเลือดที่ห่างจากหัวใจ ปกติแล้วถือว่าระดับที่ต่ำกว่าหัวใจห้องบนขวาทุก ๆ 1

เซนติเมตร ความดันในหลอดเลือดดำจะเพิ่มขึ้น 0.77 มม.ปรอท เลือดเมื่อออกจากหัวใจไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายแล้วจะกลับเข้าสู่หัวใจเรียกว่า Venous return โดยปกติมีค่าเท่ากับ Cardiac output และเนื่องจากการไหลเวียนในหลอดเลือดดำมีความดันค่อนข้างต่ำมากไม่เพียงพอที่จะดันเลือดออกจากส่วนต่าง ๆ กลับเข้าสู่หัวใจได้เพียงพอจำเป็นต้องอาศัยกลไกต่าง ๆ ของร่างกายช่วย ดังนี้

1. ผลต่างของความดันในหลอดเลือดดำส่วนปลายกับความดันภายในหัวใจห้องบนขวา โดยปกติความดันในหัวใจห้องบนขวา จะมีค่าความดันต่ำมากใกล้ค่า 0 มม.ปรอท ในภาวะที่ทำให้ความดันในหัวใจห้องบนขวาเพิ่มขึ้นจะมีผลต้านการไหลกลับของเลือดจากหลอดเลือดดำ

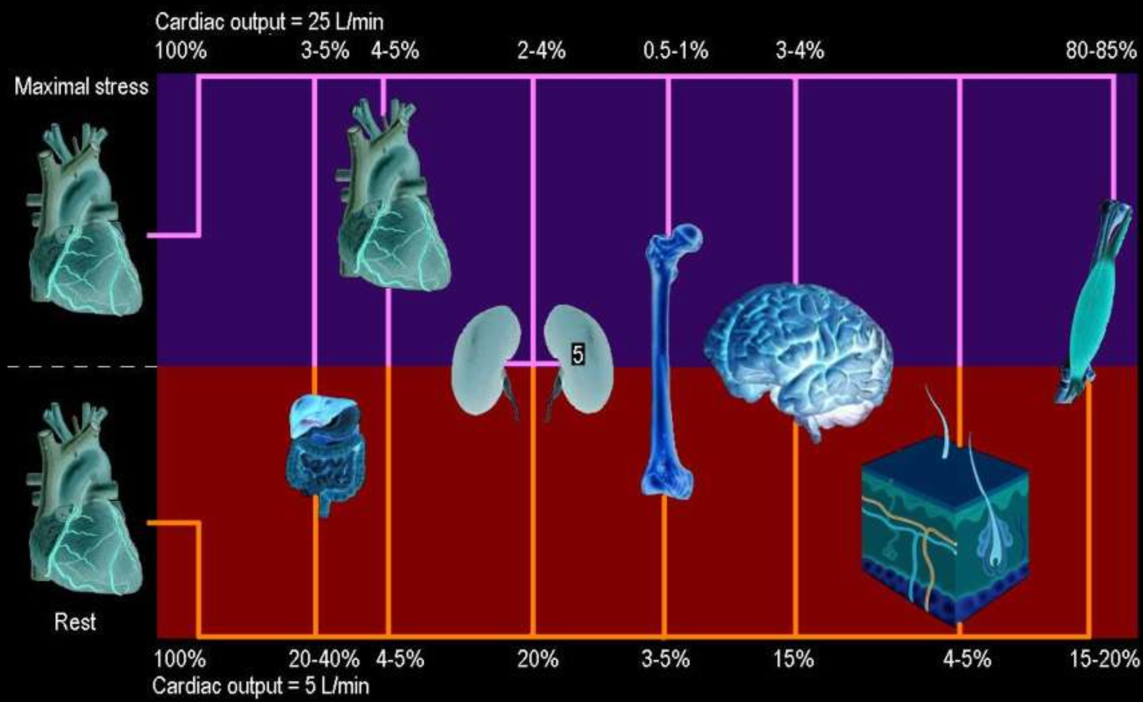
2. Thoraco - abdominal pump การไหลกลับของเลือดดำคืนสู่หัวใจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ช่วงการหายใจเข้าเลือดจะไหลกลับคืนสู่หัวใจมากขึ้นเนื่องจากความดันในช่องอกลดต่ำลงและความดันในช่องท้องเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงการหายใจออกเกิดผลตรงข้ามคือ Venous return จะลดลง เพราะความดันในช่องอกเพิ่มขึ้นและความดันในช่องท้องลดลง

3. Skeletal muscle pump การหดตัวของกล้ามเนื้อตามแขนขาหรือลำตัวจะกดหลอดเลือดดำที่อยู่ข้างใต้หรือข้าง ๆ ดันเลือดให้ไหลออกจากหลอดเลือดส่วนลิ้น (valves) ซึ่งอยู่ในหลอดเลือดดำจะจัดช่องการไหลของเลือดให้ไหลไปสู่หัวใจทางเดียว เลือดจึงถูกดันให้ไหลคืนกลับสู่หัวใจ

4. Venomotor tone ผนังของหลอดเลือดดำมีกล้ามเนื้อเรียบ ซึ่งถูกควบคุมจากประสาทซิมพาเทติก ในภาวะที่ cardiac output ลดลงหรือ blood pressure ลดลง จะมีการปรับตัวของระบบไหลเวียนทำให้มีการเพิ่ม Venomotor tone สูงขึ้น ผลทำให้หลอดเลือดดำมีการหดตัว ความดันในระบบไหลเวียนเพิ่มขึ้น

### 3.4 อัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะต่าง ๆ

อัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะใดมากหรือน้อยขึ้นกับอัตราเมตาบอลิค หรืออัตราการใช้ออกซิเจนของอวัยวะนั้นและหน้าที่ของอวัยวะนั้น เช่น หากเนื้อเยื่อมีอัตราเมตาบอลิคสูงอัตราการใช้ออกซิเจนก็สูงตาม กรณีเช่นนี้อัตราการไหลของเลือดผ่านเนื้อเยื่อนั้นจะมาก




รูปที่ 8-46 แสดงอัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะต่าง ๆ ทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย

อัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายยังขึ้นกับผลต่างความดันเลือดแดงและเลือดดำ และความต้านทานการไหลเนื่องจากหลอดเลือดในร่างกายแยกกิ่งแขนงออกไปตามอวัยวะต่าง ๆ มากมาย การจัดตัวของหลอดเลือดในร่างกายเป็นแบบขนาน ดังนั้นอัตราการไหลของเลือดผ่านอวัยวะใดจึงเปลี่ยนแปลงได้แม้ว่าความดันเลือดไม่เปลี่ยนโดยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานการไหลโดยเฉพาะการเปลี่ยนขนาดรัศมีของหลอดเลือดแดง Arterioles และ Precapillary sphincter ขนาดของหลอดเลือดเหล่านี้ในอวัยวะต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงได้ภายใต้การควบคุมของระบบประสาท ฮอร์โมนในเลือด รวมทั้งระดับความดันออกซิเจนและปริมาณ Metabolites ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อบริเวณนั้น

## ตอนที่ 4

## การควบคุมการทำงานของระบบไหลเวียน

การควบคุมในระบบไหลเวียนเลือด อาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างศูนย์ควบคุม (cardiovascular control centers) ตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงในระบบไหลเวียน (cardiovascular sensors หรือ receptors) และอวัยวะสำแดงผล (effectors) ซึ่งได้แก่ หัวใจและหลอดเลือด

**4.1 ศูนย์ควบคุมของระบบไหลเวียนเลือด**

ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ประสาทหลายกลุ่มในสมองและไขสันหลัง รับสัญญาณประสาทจากตัวรับรู้ในบริเวณต่างๆ ของร่างกาย และจากศูนย์อื่นในสมองที่อยู่เหนือขึ้นไป รวมทั้งส่งสัญญาณออกไปยังศูนย์อื่น หรือไปยังอวัยวะสำแดงผล ศูนย์ควบคุมเหล่านี้ ได้แก่ ศูนย์ควบคุมเมดัลลา (medulla oblongata) ศูนย์ควบคุมในไฮโปทาลามัส ที่ศูนย์ควบคุมภายใน cerebral cortex และศูนย์ควบคุมในไขสันหลัง

**4.1.1 ศูนย์ควบคุมในเมดัลลา** ทำหน้าที่เป็นศูนย์ควบคุมการไหลเวียนเลือดในร่างกายหรือเรียกว่า vasomotor center ศูนย์ควบคุมใน medulla จะรับคลื่นสัญญาณประสาทจากส่วนต่างๆ ของร่างกายแล้วรวบรวมประเมินผล และส่งข้อมูลออกไปยังอวัยวะสำแดงผล เพื่อควบคุมความดันเลือดแดงให้อยู่ในระดับคงที่ โดยปรับการทำงาน ของหัวใจ (อัตราเต้นและแรงบีบตัว) และขนาดรัศมีของ หลอดเลือดเพื่อให้อวัยวะต่างๆของร่างกายได้รับเลือดพอเพียงตลอดเวลา ศูนย์ควบคุมเมดัลลา แบ่งเป็น 2 บริเวณใหญ่ ได้แก่ pressor area และ depressor area เมื่อใดก็ตามที่ความดันเลือดแดงในร่างกายจะสูงขึ้นหากกลุ่มเซลล์ประสาทในบริเวณ pressor area จะถูกกระตุ้น แต่เมื่อความดันเลือดแดงลดลง depressor area จะถูกกระตุ้น

**4.1.1.1 บริเวณ pressor area ประกอบด้วย 2 ศูนย์ย่อย ดังนี้**

**1) ศูนย์ที่ทำให้หลอดเลือดหดตัว (vasoconstrictor center)** ศูนย์นี้ส่งคลื่นประสาทออกตลอดเวลาแม้ในสภาวะปกติ จึงทำให้หลอดเลือดต่างๆ ของร่างกายหดตัว ด้วยความแรงระดับหนึ่ง เรียก basal vasomotor tone หากศูนย์นี้ส่งคลื่นประสาทออกมากขึ้นก็จะมีผลให้หลอดเลือดหดตัวมากขึ้น และหากส่งคลื่นประสาทออกน้อยลง หลอดเลือดจะขยาย คลื่นประสาทจากศูนย์นี้เปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ขึ้นกับอิทธิพลของคลื่นประสาทที่มาจากภายนอก เช่น จาก depressor area จาก chemoreceptors และจาก higher brain centers

**2) ศูนย์เร่งการทำงานของหัวใจ (cardiostimulator center)** ในขณะที่ร่างกายอยู่ในสภาวะพักจะไม่มีคลื่นประสาทออกจากศูนย์นี้ หรือมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

**4.1.1.2 บริเวณ depressor area** ประกอบด้วย 2 ศูนย์ย่อย คือ

**1) ศูนย์ลดการหดตัวของหลอดเลือด (vasodepressor center)** ศูนย์นี้จะส่งสัญญาณประสาทเมื่อถูกกระตุ้นไปกดการทำงานของ vasoconstrictor center ใน pressor area ให้มีผลลด vasomotor tone นั่นผลคือ ทำให้หลอดเลือดขยาย

**2) ศูนย์ลดการทำงานของหัวใจ (cardioinhibitor center)** ศูนย์นี้ส่งคลื่นประสาทไปตามเส้นประสาทเวกัส ไปยังหัวใจตลอดเวลา แม้ในขณะที่ร่างกายอยู่ในสภาวะพัก

ศูนย์ควบคุมใน medulla จะรับคลื่นสัญญาณ ประสาทจากส่วนต่างๆ ของร่างกายแล้วรวบรวม ประเมินผลและส่งข้อมูลออกไปยังอวัยวะสำแดงผล เพื่อควบคุมความดันเลือดแดงให้อยู่ในระดับคงที่ โดยปรับการทำงานของหัวใจ (อัตราเต้นและแรงบีบตัว) และขนาดรัศมีของหลอดเลือดเพื่อให้อวัยวะต่างๆ ของร่างกายได้รับเลือดพอเพียงตลอดเวลา

**4.1.2 ศูนย์ควบคุมใน hypothalamus** ในสภาวะปกติอาจไม่มีคลื่นประสาทออกจากไฮโปทาลามัส ไปยังศูนย์ควบคุมการทำงานของหัวใจ และศูนย์ควบคุมขนาดของหลอดเลือด แต่ในบางสภาวะไฮโปทาลามัส สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบไหลเวียนได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงของระบบไหลเวียนเลือดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอารมณ์ เช่น โกรธ การออกกำลังกาย

**4.1.3 ศูนย์ควบคุมภายใน cerebral cortex** มีหลายบริเวณใน cerebral cortex ที่สามารถส่งคลื่นประสาทไปกระตุ้นหรือยับยั้งการทำงานของ vasomotor center โดยมีผลต่อระบบประสาทซิมพาเทติก ที่มาควบคุมการหดตัวของหลอดเลือดของร่างกาย เช่น ทำให้หลอดเลือดหดตัวมากขึ้นหรือทำให้หลอดเลือดขยาย นอกจากนี้ยังมีผลต่อเส้นประสาทซิมพาเทติกที่ไปกล้ามเนื้อลาย ทำให้หลอดเลือดของกล้ามเนื้อลายขยาย มีผลให้เลือดไหลไปสู่กล้ามเนื้อได้มากขึ้น

**4.1.4 ศูนย์ควบคุมในไขสันหลัง** ในสภาวะปกติ ศูนย์ควบคุมนี้ไม่ค่อยมีบทบาทต่อการควบคุมในระบบไหลเวียนเลือด

### 4.2 ตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงในระบบไหลเวียนเลือด

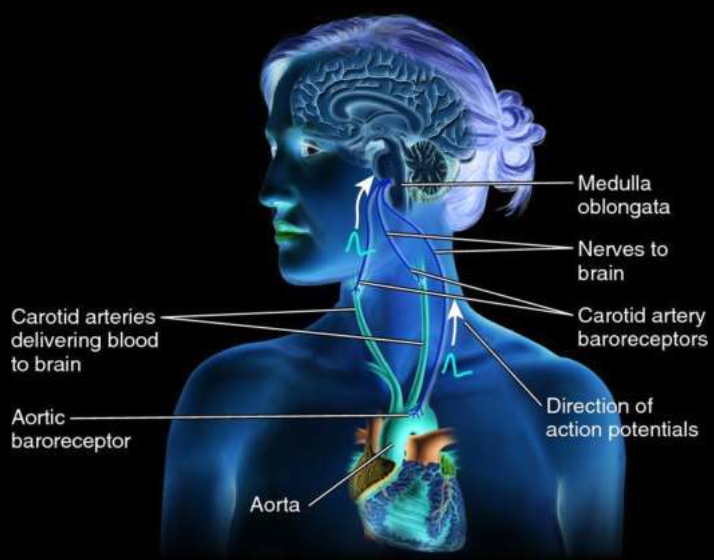
Arterial baroreceptor เป็นตัวรับรู้ที่ตอบสนองต่อการยืดขยายของหนังหลอดเลือดอยู่บริเวณ carotid sinus, arch of aorta และ common carotid artery ถ้าผนังหลอดเลือดบริเวณเหล่านี้ถูกยืดขยายออก เนื่องจากความดันเลือดที่สูงขึ้น จะมีการกระตุ้นตัวรับรู้เหล่านี้ ให้ส่งคลื่นประสาทไปตามเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 และ 10 ไปยังศูนย์ควบคุม ได้แก่ vasomotor center ในบริเวณเมดัลลา โดยมี 3 กลไกหลัก ดังนี้

1) ยับยั้ง cardioacceleratory center และกระตุ้น cardioinhibitory center ซึ่งลดการทำงานของซิมพาเทติก และเพิ่มการทำงานของพาราซิมพาเทติก ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจช้าลง การบีบตัวของหัวใจช้าลงและปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที (cardiac output, CO) ลดลง

2) ยับยั้ง vasomotor center ทำให้มีการขยายตัวของหลอดเลือดแดง ส่งผลให้แรงต้านต่อการไหลของเลือด (peripheral resistance) ลดลง

3) การยับยั้ง vasomotor center ยังทำให้มีการขยายตัวของหลอดเลือดดำ ส่งผลให้เลือดถูกกักเก็บไว้ในหลอดเลือดดำเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณเลือดไหลกลับเข้าสู่หัวใจลดลง

ตัวรับรู้ baroreceptor นี้จะทำงานได้ดี เมื่อความดันเลือดอยู่ในช่องระหว่าง 60 ถึง 160 มม.ปรอท




รูปที่ 8-47 แสดงตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลง Baroreceptor

**4.3 การควบคุมการทำงานของหลอดเลือด**

การควบคุมความดันเลือด มีการควบคุมการทำงานของหัวใจ (ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น) และการควบคุมการทำงานของหลอดเลือด ดังนี้

**4.3.1 การควบคุมรัศมีของหลอดเลือด** ประกอบด้วย 2 กลไก คือ

**4.3.1.1 การควบคุมทั่วร่างกาย (Central control)** โดยการทำงานของประสาทอัตโนมัติ สารเคมีและฮอร์โมน

**1) กลไกที่ผ่านทางเส้นประสาทอัตโนมัติ** คลื่นประสาทออกจากศูนย์ควบคุมไปยังหลอดเลือดต่างๆ โดยผ่านทางเส้นประสาทอัตโนมัติ ได้แก่

=> Sympathetic vasoconstrictor fibers คลื่นประสาทที่ถูกส่งไปตามใยประสาทนี้จะมีผลให้กล้ามเนื้อเรียบในผนังของหลอดเลือดต่างๆ โดยเฉพาะ arteries เส้นเล็กๆ และ arterioles หดตัว การตอบสนองนี้แตกต่างกันไปในแต่ละอวัยวะ พบว่าการหดตัวจะมากที่สุดในที่ผิวหนังและไต การหดตัวจะเกิดปานกลางหรือน้อยในกล้ามเนื้อลาย ลำไส้ และตับ และจะไม่พบการหดตัวที่หัวใจและสมอง

=> Sympathetic vasodilator fibers ใยประสาทชนิดนี้จะส่งไปยังหลอดเลือดในกล้ามเนื้อลายและอวัยวะเพศ (ซึ่งมีใยประสาท cholinergic vasodilation ทั้งแขนงซิมพาเทติก และพาราซิมพาเทติกมาควบคุม) เมื่อกระตุ้นใยประสาทนี้จะทำให้หลอดเลือดขยาย ทำให้เลือดไหลไปสู่อวัยวะเหล่านี้ได้มากขึ้น

=> Parasympathetic vasodilator action การกระตุ้นใยประสาท พาราซิมพาเทติกที่ไปยังต่อมมีท่อบางแห่ง เช่น ต่อมน้ำลาย และต่อมเหงื่อ นอกจากนี้ยังพบใยประสาทชนิดนี้ไปยังเนื้อเยื่อที่ช่วยทำให้อวัยวะเพศแข็งตัว

**2) กลไกทางสารเคมี และฮอร์โมน**

=> Epinephrine และ norepinephrine สารทั้งสองเป็นฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมหมวกไตชั้นใน ซึ่งส่วนใหญ่จะให้อิพิเนฟริน (epinephrine) การหลั่งฮอร์โมนทั้งสองนี้ขึ้นอยู่กับการกระตุ้นของปลายประสาทซิมพาเทติกที่มายังต่อมหมวกไต สำหรับนอร์อิพิเนฟริน (norepinephrine) ยังพบได้ที่ปลายประสาทของเส้นประสาท sympathetic vasoconstrictor ที่ไปยังหลอดเลือดต่างๆ โดยทั่วไปแล้วฮอร์โมนทั้งสองนี้มีฤทธิ์ต่อหลอดเลือดคล้ายกัน คือ ทำให้หลอดเลือดของอวัยวะต่างๆ หดตัว และยังมีผลกระตุ้นการทำงานของหัวใจ

สำหรับหลอดเลือดแดงของกล้ามเนื้อลายซึ่งหดตัวโดยนอร์อิพิเนฟริน แต่อาจหดตัวหรือขยายตัวโดยอิพิเนฟริน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนี้ในกระแสเลือด หากความเข้มข้นต่ำหลอดเลือดจะขยาย แต่หากความเข้มข้นสูงขึ้นหลอดเลือดจะหดตัว ซึ่งหลอดเลือดจะหดตัว หรือขยายขึ้นอยู่กับการกระตุ้นของฮอร์โมนต่อตัวรับที่ผนังหลอดเลือดนั้น

ตัวรับที่ตอบสนองต่อ อิพิเนฟริน และ นอร์อิพิเนฟริน หรือสารอื่นๆ ในกลุ่ม catecholamines เรียก adrenergic receptors ซึ่งพบได้ที่ผนังเซลล์กล้ามเนื้อ เรียบในผนังหลอดเลือดและอวัยวะอื่นๆ บางแห่งในร่างกาย adrenergic receptors แบ่งได้เป็น 2 พวก ได้แก่ alpha ($\alpha$) และ beta ($\beta$) receptors พบว่าการกระตุ้น alpha receptor จะมีผลให้กล้ามเนื้อในผนังหลอดเลือดหดตัว ส่วนการกระตุ้น beta receptor จะทำให้กล้ามเนื้อในผนังหลอดเลือดคลายตัว มีผลให้หลอดเลือดขยายกล้ามเนื้อเรียบของผนังหลอดเลือดส่วนใหญ่ของ ร่างกายจะมี receptors ทั้งชนิด alpha และ beta ซึ่งการตอบสนองของหลอดเลือดต่ออิพิเนฟริน จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการกระตุ้นของฮอร์โมนนี้ต่อตัวรับทั้งสอง

หากการกระตุ้นกระทำต่อ alpha receptors มากกว่า beta receptors กล้ามเนื้อเรียบในผนังหลอดเลือดจะหดตัว ทำให้หลอดเลือดตีบ หาก beta receptors ตอบสนองมากกว่า หลอดเลือดจะขยาย หลอดเลือด

ของอวัยวะต่างๆ ส่วนใหญ่จะหดตัวโดยอิพิเนฟรินและนอร์อิพิเนฟริน เนื่องจากมีผลกระตุ้น alpha receptor ยกเว้นหลอดเลือดของกล้ามเนื้อลายที่ซึ่งอิพิเนฟรินที่ความเข้มข้น ต่ำจะกระตุ้น beta receptors เป็นส่วนใหญ่ มีผลให้หลอดเลือดของกล้ามเนื้อลายขยาย หากความเข้มข้นสูงขึ้นจะกระตุ้น alpha receptors ด้วย ซึ่งให้การตอบสนองที่รุนแรงกว่า จึงมีผลกลับกลายให้หลอดเลือดหดตัว

**3) สารอื่นๆ** สารอื่นๆ ที่มีผลต่อขนาดของหลอดเลือดและระบบไหลเวียนของเลือด ได้แก่ angiotensin ซึ่งมีฤทธิ์ทำให้หลอดเลือดหดตัว และ Antidiuretic hormone (ADH หรือ vasopressin) จากต่อมใต้สมองส่วนหลังก็มีผลให้หลอดเลือดหดตัว สารบางอย่างในร่างกายและยาหลายชนิดมีคุณสมบัติทำให้หลอดเลือดขยาย โดยกระตุ้นการหลั่งของไนตริกออกไซด์ (nitric oxide, NO) จากผนังหลอดเลือด ไนตริกออกไซด์มีฤทธิ์ทำให้ผนังหลอดเลือดคลายตัว

**4.3.1.2 การควบคุมเฉพาะที่ (Local control)** เป็นกลไกลที่เกิดขึ้นกับหลอดเลือดเฉพาะอวัยวะจากการหดตัวหรือคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบในผนังของหลอดเลือด โดยพบว่าอวัยวะบางแห่ง ได้แก่ สมอง หัวใจ กล้ามเนื้อลาย ลำไส้ ตับ และไต อัตราไหลของเลือดที่ไหลผ่านจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความดันที่เปลี่ยนไป เรียกความสามารถในการปรับความต้านทานของหลอดเลือดนี้ว่า **autoregulation** เว้นแต่ถ้าความดันต่ำกว่า 70 มม.ปรอท หรือสูงกว่า 150 มม.ปรอท จึงพบอัตราไหลของเลือดจะเปลี่ยนไปตามความดัน

******************************************

## ตอนที่ 5
## การไหลเวียนเลือดล้มเหลว (Circulatory failure)

ระบบไหลเวียนเลือดทำหน้าที่เป็นระบบขนส่งสารต่างๆ ทั้งออกซิเจน อาหาร และสารที่จำเป็นไปยังเซลล์ของร่างกายอย่างพอเพียง พร้อมกับนำของเสียหรือสารที่เกินพอไปยังอวัยวะที่ทำหน้าที่กำจัดออก เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานและการดำรงชีวิตของเซลล์และของร่างกาย การทำหน้าที่ของระบบไหลเวียนอาศัยกลไกการทำงานที่เกี่ยวเนื่องกันขององค์ประกอบต่างๆ หากกลไกเหล่านี้ทำงานผิดปกติจนทำให้การทำหน้าที่ของระบบไหลเวียนล้มเหลว ย่อมส่งผลต่อการทำงานของร่างกาย

**5.1 สาเหตุ** การไหลเวียนเลือดล้มเหลว เกิดได้จากสาเหตุต่างๆ กัน ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่

**5.1.1 เกิดจาก systemic venous return ลดลง** กลุ่มนี้มักทำให้เกิดการคั่งของของเหลวในระบบหลอดเลือดดำ เกิดจากปัจจัยใหญ่ๆ ดังนี้

1) ปัจจัยที่มิใช่ความผิดปกติของหัวใจ เช่น การเสียเลือด (hemorrhage) และช็อก (shock) หลอดเลือดอวัยวะต่างๆสูญเสียการควบคุม (peripheral vascular collapse)
2) ปัจจัยที่เกิดจากความผิดปกติของหัวใจ ส่งผลให้เลือดไหลกลับสู่หัวใจน้อยลง เช่น เยื่อหุ้มหัวใจผิดปกติ ลิ้น tricuspid ของหัวใจตีบ (stenosis)

**5.1.2 เกิดจากความผิดปกติของหัวใจในการบีบตัวและรับเลือดเข้าหัวใจ** เนื่องจากหัวใจมีโครงสร้างผิดปกติ ทำให้ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวเนื่องเป็นลำดับไป จนทำให้ความดันเลือดในหลอดเลือดแดง systemic หรือ pulmonary circulation สูงขึ้น เช่น ลิ้น semilunar ตีบ, ลิ้น mitral ของหัวใจแข็งหรือปิดไม่สนิท เป็นต้น

**5.1.3 เกิดจากโรคของกล้ามเนื้อหัวใจล้มเหลว** เช่น การอุดกั้นของหลอดเลือดโคโรนารี ทำให้กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดและตาย

**5.1.4 เกิดจาก cardiac output ของ ventricle** ข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างมีปริมาณสูงผิดปกติเป็นเวลานาน เช่น โรคโลหิตจาง (anemia) โรคเหน็บชา จากการขาดวิตามินบี 1 เป็นต้น

**5.2 Circulatory shock (ช็อกจากระบบไหลเวียน)**

หมายถึง สภาวะผิดปกติของร่างกายเนื่องจากเลือดไหลเวียนไปเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายไม่เพียงพอจนทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อ ซึ่งมักจะพบว่าในขณะนั้นจะมีความดันเลือดต่ำมาก ซึ่งถ้าหากภาวะที่เนื้อเยื่อต่าง ๆ ขาดเลือดยังดำเนินต่อไปและไม่ได้รับการแก้ไขจะทำให้เสียชีวิตในที่สุด

**ระยะของช็อก**

**1. Initial หรือ Hypotensive stage** เป็นระยะเริ่มต้นของช็อกที่ร่างกายยังสามารถปรับตัวแก้ไขได้ (compensated) แม้ว่า cardiac output และความดันเลือดลดลง แต่กลไกของระบบไหลเวียนและระบบอื่นสามารถทำให้ร่างกายกลับเข้าสู่สภาวะปกติได้

**2. Progressive stage** เป็นระยะช็อกที่ทำให้ระบบไหลเวียนเลือดเสื่อมลง ร่างกายไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยตัวเอง หากไม่ได้รับการรักษาช็อกจะดำเนินต่อไปและเพิ่มความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ จนเสียชีวิต

**3. Irreversible shock** เป็นระยะช็อกรุนแรงที่ไม่สามารถช่วยให้รอดชีวิตได้ เรียกว่าอยู่ในระยะที่ไม่สามารถแก้ไขให้กลับคืน (irreversible) แม้ว่าการช่วยเหลือช็อกในระยะนี้จะสามารถทำให้ Cardiac output และความดันเลือดกลับสู่ปกติได้แต่จะอยู่ได้เพียงชั่วครู่ ก็จะตกกลับไปอยู่ที่ศูนย์อีก

**5.3 ผลของช็อกต่อร่างกาย**

1) ลดอัตราเมตาบอลิค เพราะเซลล์ร่างกายขาดอาหารและออกซิเจน เนื่องจาก cardiac output ต่ำ

2) กล้ามเนื้ออ่อนกำลังลง พบได้ตั้งแต่ต้นที่เริ่มเกิดช็อก

3) อุณหภูมิร่างกายลดลง เนื่องจากเมตาบอลิคของร่างกายลดลง

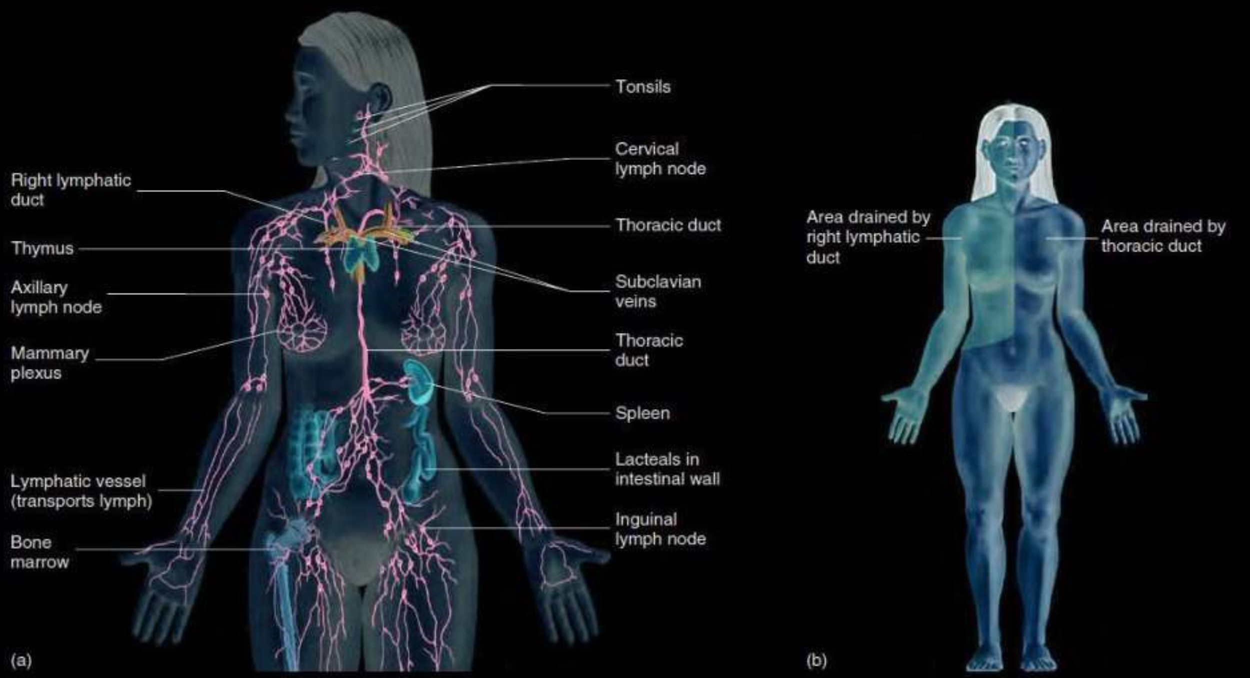
4) ผลต่อสมอง ผู้ป่วยอาจรู้สึกตัวดีในระยะแรก หากช็อกดำเนินต่อไป อาจมีผลให้สมองมึนงงจนถึงไม่รู้สึกตัว ทั้งศูนย์ควบคุมระบบไหลเวียนและศูนย์ควบคุม การหายใจทำงานล้มเหลว เมื่อช็อกดำเนินไปถึงระยะท้ายๆ

5) ลดการทำงานของไต เลือดไหลผ่านไตน้อย มักทำให้การสร้างปัสสาวะน้อย และเนื่องจากไตมีอัตราเมตาบอลิคสูง การขาดเลือดจึงมักทำให้เซลล์บุผิวท่อไตตาย (tubular necrosis) เกิดการหลุดลอกและอุดท่อไต ผู้ป่วยอาจได้รับการรักษาให้ทุเลาจากช็อก แต่อาจเสียชีวิตในเวลาต่อมาด้วยสภาวะมีการคั่งของของเสียในร่างกาย เนื่องจากภาวะไตวาย

*******************************************

## ตอนที่ 6
## ระบบน้ำเหลือง (Lymphatic system)

ระบบน้ำเหลืองเป็นระบบลำเลียงสารต่าง ๆ ให้กลับเข้าสู่เส้นเลือด โดยเฉพาะสารอาหารพวกกรดไขมันที่ดูดซึมจากลำไส้เล็ก ระบบน้ำเหลืองไม่มีอวัยวะสำหรับสูบฉีดไปยังส่วนต่าง ๆ ประกอบไปด้วย น้ำเหลือง (Lymph) ท่อน้ำเหลือง (Lymph vessel) และอวัยวะน้ำเหลือง (Lymphatic organ)




รูปที่ 8-48 แสดงอวัยวะน้ำเหลืองสำคัญ ได้แก่ ต่อมทอนซิล (tonsil), ต่อมน้ำเหลือง (lymph node) ม้าม (spleen) และต่อมไทมัส (thymus)

### 6.1 หน้าที่ของระบบน้ำเหลือง

1. ลำเลียงของเหลวกลับสู่ระบบหมุนเวียนเลือด ระบบน้ำเหลืองจะทำหน้าที่ลำเลียงของเหลวส่วนเกินนี้กลับทางท่อน้ำเหลืองและกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดอีกครั้ง ซึ่งการลำเลียงของเหลวส่วนเกิดกลับนี้จะช่วยให้ร่างกายยังคงรักษาสมดุลปริมาตรและความดันของเลือดในระดับปกติไว้ได้ และยังป้องกันการบวมน้ำจากการสะสมของเหลวส่วนเกินรอบ ๆ เนื้อเยื่ออีกด้วย

2. ลำเลียง สารไขมันบางส่วนจากอาหารในลำไส้ที่ถูกระบบน้ำเหลืองดูดซับ ซึ่งระบบน้ำเหลืองจะลำเลียงสารอาหารที่เป็นไขมันเหล่านี้เพื่อส่งคืนกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด นอกจากนี้ยังลำเลียงสารอาหารหรือของเสียที่มีโมเลกุลใหญ่จากช่องว่างระหว่างเซลล์ ไปตามท่อน้ำเหลืองและจะถูกคัดกรองที่ต่อมน้ำเหลือง รวมถึงการลำเลียงเซลล์เม็ดเลือดขาวที่จะจัดการกับเชื้อโรคไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

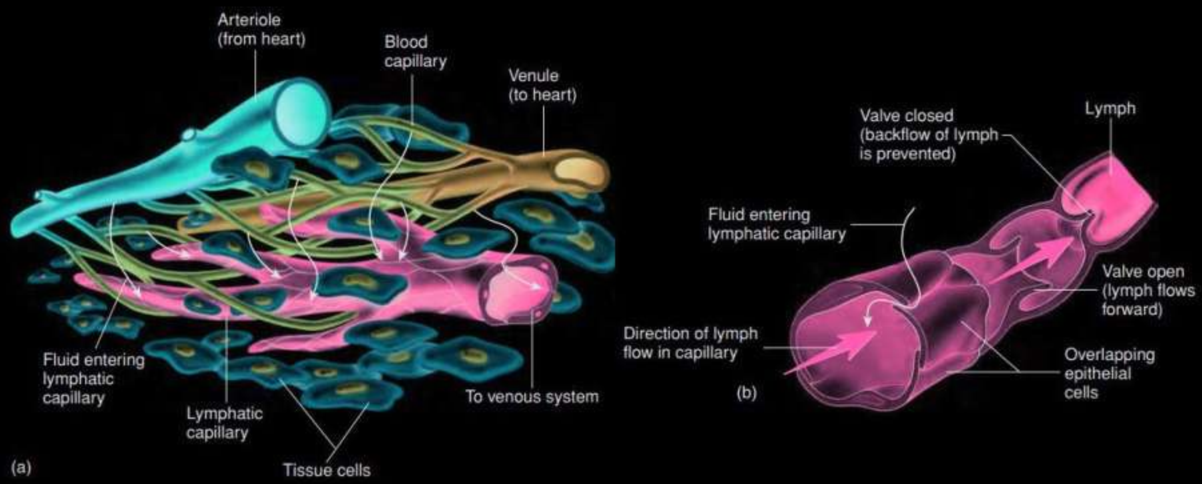
3. จัดการกับเชื้อโรค เชื้อโรคต่าง ๆ ที่เข้าสู่ร่างกายทางปาก จมูก หรือแม้แต่เศษซากเซลล์ที่เสียหายหรือตายแล้ว ระบบน้ำเหลืองจะจัดการกับสิ่งเหล่านี้ ทั้งโดยการกรองที่ต่อมน้ำเหลือง รวมถึงสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวมากขึ้นเพื่อมากำจัดเชื้อโรค

## 6.2 โครงสร้างของระบบน้ำเหลือง

โครงสร้างของระบบน้ำเหลือง ประกอบด้วย น้ำเหลือง ท่อน้ำเหลือง อวัยวะในระบบน้ำเหลือง

### 6.2.1 น้ำเหลือง (Lymph)

เป็นส่วนที่มาจากพลาสมา ซึ่งถูกแรงดัน (hydrostatic pressure) ดันออกมาจากหลอดเลือดฝอย มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ประกอบไปด้วย น้ำ โปรตีน เกลือ กรดไขมัน เม็ดเลือดขาว และสารอื่น ๆ ที่ต้องลำเลียงกลับไปยังระบบหมุนเวียนเลือด โดยลำเลียงส่งไปทางระบบน้ำเหลืองตามลำดับ ดังนี้ intercellular fluid (ช่องว่างระหว่างเซลล์) ---> lymph capillary (ท่อน้ำเหลืองฝอย) ---> lymph vessels (ท่อน้ำเหลือง) ----> rt. lymphatic duct (ท่อน้ำเหลืองจากแขนขวาและศีรษะซีกขวา) และ thoracic duct (ท่อน้ำเหลืองจากแขนซ้ายและส่วนอื่นๆ ของร่างกาย) ---> right subclavian vein และ left subclavian vein ซึ่งการลำเลียงของเหลวกลับนี้จะช่วยให้ร่างกายยังคงรักษาสมดุลปริมาตรและความดันของเลือดในระดับปกติไว้ได้ และยังป้องกันการบวมน้ำจากการสะสมของเหลวส่วนเกินรอบ ๆ เนื้อเยื่ออีกด้วย




รูปที่ 8-49 แสดง Lymph capillaries (หลอดน้ำเหลืองฝอย)

### 6.2.2 ท่อน้ำเหลือง (Lymphatic Vessels)

ท่อน้ำเหลืองพบได้ทั่วไปในร่างกายของเรา มีลักษณะคล้ายกับเส้นเลือดดำและเส้นเลือดฝอยในระบบหมุนเวียนเลือด และมีลิ้นปิดเปิดเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำเหลือง ท่อน้ำเหลืองจะวางตัวขนานกับหลอดเลือดและคอยนำของเหลวส่วนเกินที่อยู่รอบ ๆ เนื้อเยื่อกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด โดยท่อน้ำเหลืองจากบริเวณต่าง ๆ จะค่อย ๆ รวมกันเป็นท่อที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ลำเลียงของเหลวผ่านต่อมน้ำเหลืองเพื่อกรองเชื้อโรคต่าง ๆ ก่อนจะระบายน้ำเหลืองเข้าสู่เส้นเลือดดำที่ชื่อว่า right subclavian vein และ left subclavian vein

ระบบน้ำเหลืองไม่มีอวัยวะสำหรับสูบฉีดเหมือนในระบบไหลเวียนเลือด ดังนั้นการที่น้ำเหลืองสามารถไหลจาก Lymph capillary ไปสู่หลอดน้ำเหลืองในระดับต่างๆ จนกลับเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดได้ อาศัยปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. การหดตัวของกล้ามเนื้อบริเวณใกล้เคียงทำให้เกิดการกด หลอดน้ำเหลือง ดันให้น้ำเหลืองเคลื่อนที่
2. ลิ้น (valve) ของหลอดน้ำเหลืองช่วยทำให้น้ำเหลืองไหลไปทางเดียวไม่มีการไหลกลับ ซึ่งคล้ายกับการทำงานที่ผนังของหลอดเลือดดำ

3. โดยแรงดูดจาก Negative pressure ในทรวงอกขณะหายใจ ซึ่งในขณะหายใจเข้ากระบังลมจะเคลื่อนตัวลงสู่ช่องท้องส่งผลให้ความดันในช่องท้องสูงขึ้นทำให้น้ำเหลืองเคลื่อนที่จากช่องท้องขึ้นสู่ช่องอกเพราะเป็นช่วงที่ช่องอก มีความดันต่ำกว่า

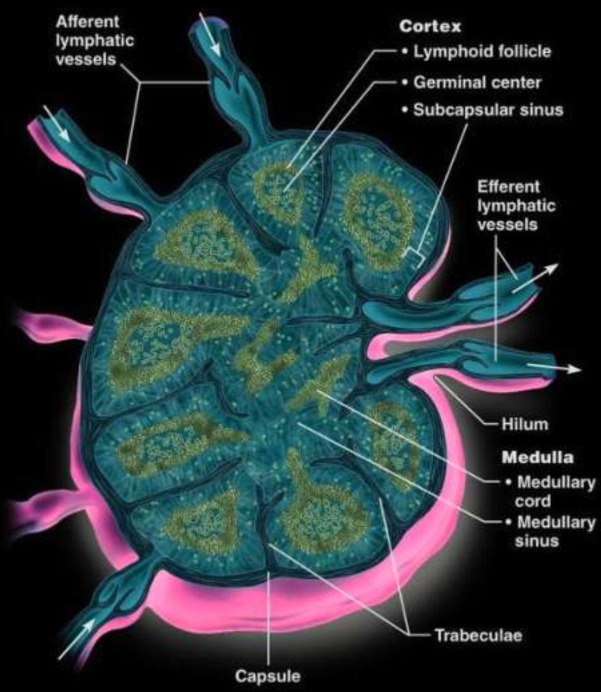
**6.2.3 อวัยวะในระบบน้ำเหลือง (Organs of the lymphatic system)**

เป็นอวัยวะที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อน้ำเหลือง มีเนื้อยึดต่อเป็นเปลือกหุ้ม (capsule) อวัยวะเหล่านี้ ได้แก่ ต่อมน้ำเหลือง (lymph node) ต่อมทอนซิล (tonsil) ต่อมไทมัส (thymus) ม้าม (spleen)

**1) ต่อมน้ำเหลือง (Lymph node)** เป็นอวัยวะน้ำเหลือง ที่พบตามทางเดินน้ำเหลืองทั่วร่างกาย มีรูปร่างคลายเม็ดถั่ว มีส่วนที่เว้าเข้าไป เรียกว่า hilum เป็นทางเข้าออกของหลอดเลือดที่มาเลี้ยงต่อมน้ำเหลือง และเป็นทางออกของน้ำเหลืองที่กรองแล้ว ต่อมน้ำเหลืองเป็นอวัยวะที่มีเปลือกหุ้มชัดเจน เปลือกเป็นเนื้อยึดต่อชนิดที่มีเส้นใยหนาแน่น และมีส่วนยื่นลงไปในเนื้อต่อมเรียกว่า trabeculae ต่อมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

**=> ชั้นเปลือกนอก (cortex)** ประกอบด้วยกลุ่มของลิมโฟซัยท์ที่อยู่กันอย่างหนาแน่น พบมี lymphatic nodule กระจายอยู่ทั่วไป

**=> ชั้นใน (medulla)** ประกอบด้วย lymphocytes และ plasma cells เรียงตัวเป็นแถวเรียกว่า medullary cord ซึ่งเซลล์เหล่านี้จะเรียงตัวอยู่รอบ ๆ หลอดเลือดขนาดเล็กที่มีการแตกแขนงเชื่อมโยงกัน




รูปที่ 8-50 แสดงกายวิภาคของต่อมน้ำเหลือง

**หน้าที่ของต่อมน้ำเหลือง**

1. ผลิต lymphocytes
2. ทำหน้าที่กรองน้ำเหลือง โดยการกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับน้ำเหลือง โดยการทำงานของเซลล์มาโครเฟจ (macrophages)
3. ทำหน้าที่ในการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย

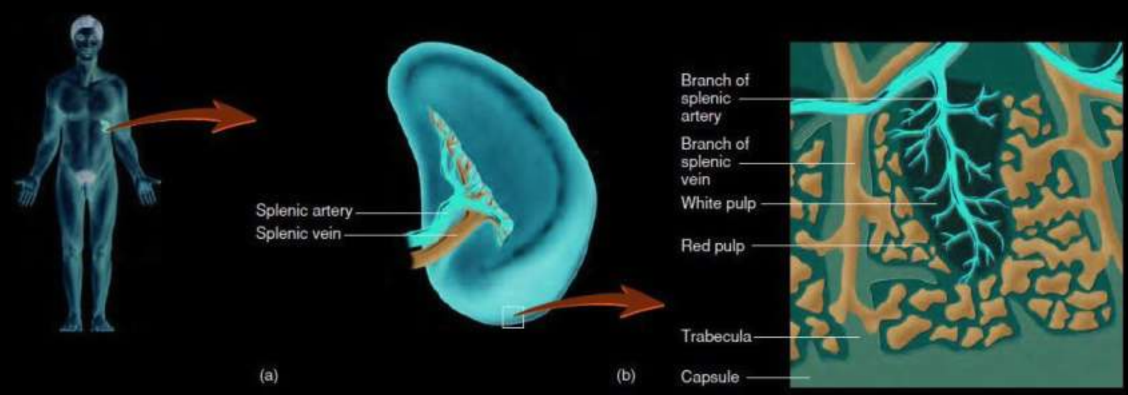
**2) ต่อมไทมัส (Thymus)** เป็นอวัยวะน้ำเหลืองที่อยู่บริเวณหลังกระดูกหน้าอก เหนือหัวใจ ทำหน้าที่สำคัญ คือ เก็บเม็ดเลือดขาวลิมโฟไซต์ที่ยังไม่โตเต็มที่ และหลั่งฮอร์โมนไทโมซิน (Thymosin) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์เซลล์เม็ดเลือดขาวลิมโฟไซต์ชนิด T-Cells และปรับสภาพให้เจริญเติบโตได้เต็มที่ เพื่อช่วยจัดการกับเซลล์ที่ติดเชื้อหรือเซลล์มะเร็ง

**3) ม้าม (Spleen)** ม้ามเป็นอวัยวะน้ำเหลืองที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ยาวประมาณ 5 นิ้ว อยู่บริเวณชายโครงด้านซ้าย ระหว่างกระเพาะอาหารกับกระบังลม ม้ามถูกหุ้มด้วยเนื้อยึดต่อ และคลุมทับด้วย Visceral peritoneum บริเวณขั้วของม้าม (Hilum) จะมีความหนากว่าส่วนอื่น และเป็นทางเข้าออกของหลอดเลือด และเส้นประสาท ภายในม้ามประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ

=> White pulp เป็นเนื้อเยื่อที่เห็นเป็นจุดสีขาว ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วย Lymphocyte ที่เรียงตัวกันอยู่รอบ ๆ หลอดเลือดแดง

=> Red pulp เป็นเนื้อเยื่อที่เห็นเป็นสีแดงสด ประกอบด้วย Venous sinus ซึ่งภายในมีเลือดอยู่เต็ม และเนื้อเยื่อที่แทรกอยู่ระหว่าง Venous sinus เรียกว่า Splenic cord โดยภายใน Splenic cord ประกอบด้วย เม็ดเลือดแดง Macrophage Lymphocyte และ Granulocyte

ม้ามจะไม่มีหลอดน้ำเหลืองที่นำน้ำเหลืองเข้าสู่ม้าม (Afferent lymphatic vessel) และ Lymph sinus เพราะมันไม่มีหน้าที่ในกรองน้ำเหลือง




รูปที่ 8-51 แสดงกายวิภาคของม้าม

**4) ต่อมทอนซิล (Tonsils)** อยู่บริเวณหลังลำคอ เปรียบเสมือนต่อมน้ำเหลืองต่อมหนึ่ง โดยเป็นด่านแรกของระบบภูมิคุ้มกันที่คอยดักจับเชื้อโรคที่จะเข้าสู่ทางเดินอาหารผ่านปาก และทางเดินหายใจผ่านจมูก ต่อมทอนซิลเป็นที่อยู่ของเม็ดเลือดขาวลิมโฟไซต์และแมกโครฟาจ

************************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy* : *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**
**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**
**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบย่อยอาหาร
(Anatomy and Physiology of Digestive system)

**จำนวน** 8 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบย่อยอาหาร
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปใช้ในการปฏิบัติงานด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกชื่ออวัยวะในท่อทางเดินอาหารได้อย่างถูกต้อง
2. บอกชื่ออวัยวะเสริมการย่อยอาหารได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายจุลกายวิภาคของท่อทางเดินอาหารได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายระบบประสาทของท่อทางเดินอาหารได้อย่างถูกต้อง
5. บอกชื่อฮอร์โมนและหน้าที่ของฮอร์โมนในระบบย่อยอาหารได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของต่อมน้ำลายได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของคอหอยได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของหลอดอาหารได้อย่างถูกต้อง
9. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของกระเพาะอาหารได้อย่างถูกต้อง
10. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของลำไส้เล็กได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของลำไส้ใหญ่ได้อย่างถูกต้อง
12. อธิบายกลไกการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมของลำไส้เล็กได้อย่างถูกต้อง
13. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของตับได้อย่างถูกต้อง
14. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของถุงน้ำดีได้อย่างถูกต้อง
15. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของตับอ่อนได้อย่างถูกต้อง
16. บอกชื่อฮอร์โมนของตับอ่อนที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารได้อย่างถูกต้อง
17. อธิบายวิธีการเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหารได้อย่างถูกต้อง
18. อธิบายวิธีการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กได้อย่างถูกต้อง
19. อธิบายวิธีการเคลื่อนไหวของลำไส้ใหญ่ได้อย่างถูกต้อง
20. บอกชื่อน้ำย่อยของกระเพาะอาหารได้อย่างถูกต้อง

21. บอกชื่อน้ำย่อยและวิธีการย่อยของน้ำย่อยจากตับอ่อนได้อย่างถูกต้อง
22. บอกหน้าที่น้ำดีจากตับได้อย่างถูกต้อง
23. อธิบายวิธีการดูดซึมคาร์โบไฮเดรทได้อย่างถูกต้อง
24. อธิบายวิธีการดูดซึมไขมันได้อย่างถูกต้อง
25. อธิบายวิธีการดูดซึมโปรตีนได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจตคติในการเรียนการสอน

# 9

*************************************

# ระบบย่อยอาหาร

# (Anatomy and Physiology of Digestive system)

**ตอนที่ 1 บทนำ**

1.1 อวัยวะในระบบย่อยอาหาร

1.2 ท่อทางเดินอาหาร

1.3 การไหลเวียนเลือดในระบบย่อยอาหาร

1.4 ระบบประสาทของย่อยอาหาร

1.5 ฮอร์โมนของย่อยอาหาร

**ตอนที่ 2 กายวิภาคศาสตร์ระบบย่อยอาหาร**

2.1 ช่องปาก (Mouth, Oral cavity)

2.2 ลิ้น (Tongue)

2.3 ตุ่มรับรส (Taste bud)

2.4 ต่อมน้ำลาย (Salivary gland)

2.5 ฟัน (Teeth)

2.6 คอหอย (pharynx)

2.7 หลอดอาหาร (Esophagus)

2.8 กระเพาะอาหาร (Stomach)

2.9 ลำไส้เล็ก (Small intestine)

2.10 ลำไส้ใหญ่ (Large intestine)

2.11 ตับ (Liver)

2.12 ถุงน้ำดี (Gallbladder)

2.13 ตับอ่อน (Pancreas)

**ตอนที่ 3 สรีรวิทยาระบบย่อยอาหาร**

3.1 การเคลื่อนไหวของระบบทางเดินอาหาร (Motility)

3.2 การหลั่งน้ำย่อย (Secretion)

3.3 การย่อยและดูดซึม (Digestion and absorption)

# บทที่ 9
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบย่อยอาหาร
# (Anatomy and Physiology of the Digestive System)

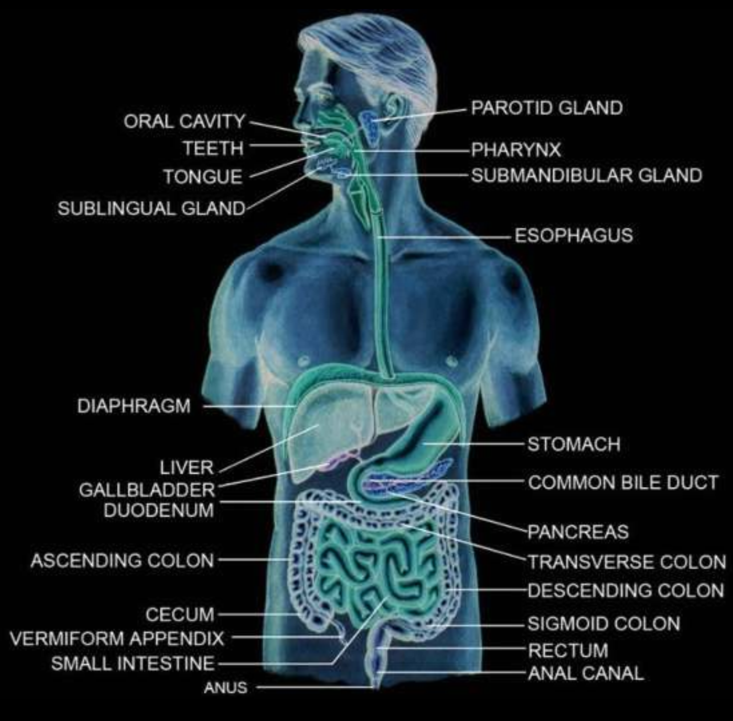
ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

## ตอนที่ 1
## บทนำกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบย่อยอาหาร

**1.1 อวัยวะในระบบย่อยอาหาร** หรือระบบย่อยอาหาร แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

**1.1.1 ท่อทางเดินอาหาร (Gastrointestinal tract, GI tract หรือ Alimentary tract)** เป็นท่อกล้ามเนื้อเริ่มจากปากไปถึงรูทวารหนัก ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ปาก (mouth) คอหอย (pharynx) หลอดอาหาร (esophagus) กระเพาะอาหาร (stomach) ลำไส้เล็ก (small intestine) และลำไส้ใหญ่ (large intestine) อาหารถูกนำเข้าสู่ร่างกายทางปาก ถูกบดเคี้ยวให้มีขนาดเล็กลงโดยฟัน แล้วกลืนผ่านหลอดอาหารลงสู่กระเพาะอาหารซึ่งมีน้ำย่อยสำหรับย่อยอาหาร อาหารที่ย่อยแล้วบางส่วนจะผ่านเข้าสู่ลำไส้เล็กที่มีการย่อยอย่างสมบูรณ์ สารอาหารที่ร่างกายต้องการจะถูกดูดซึมบริเวณลำไส้เล็ก เหลือกากอาหารผ่านไปสู่ลำไส้ใหญ่ เพื่อขับออกนอกร่างกายทางทวารหนัก อาหารสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปตามท่อทางเดินอาหารได้โดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อที่ผนังของท่อ เรียกว่า **peristalsis**

**1.1.2 อวัยวะเสริมในการย่อย (Accessory digestive organs)** อวัยวะในกลุ่มนี้ ได้แก่ ฟัน (teeth), ลิ้น (tongue), ต่อมน้ำลาย (salivary glands), ตับ (liver), ถุงน้ำดี (gallbladder) และตับอ่อน (pancreas)




รูปที่ 9-1 อวัยวะในระบบย่อยอาหาร

นอกจากนี้ส่วนต่างๆ ของทางเดินอาหารจะมีกล้ามเนื้อหูรูด (sphincter) กั้นเป็นระยะ ดังนี้

1) กล้ามเนื้อหูรูดหลอดอาหารส่วนบน (Upper esophageal sphincter, UES) อยู่ส่วนบนของหลอดอาหาร

2) กล้ามเนื้อหูรูดหลอดอาหารส่วนล่าง (Lower esophageal sphincter, LES หรือ Cardiac sphincter) อยู่บริเวณส่วนล่างของหลอดอาหาร

3) กล้ามเนื้อหูรูดไพลอรัส (Pyloric sphincter) อยู่ตอนปลายของกระเพาะอาหาร

4) กล้ามเนื้อหูรูดอิลิโอซีคัล (Ileocecal sphincter) อยู่ที่ปลายลำไส้เล็กต่อกับลำไส้ใหญ่

5) กล้ามเนื้อหูรูดทวารหนักด้านใน (Internal anal sphincter) และด้านนอก (External anal sphincter)

## 1.2 ท่อทางเดินอาหาร (Alimentary tract)

**จุลกายวิภาคของท่อทางเดินอาหาร**

ผนังของท่อทางเดินอาหาร โดยเฉพาะตั้งแต่หลอดอาหารไปจนถึงทวารหนัก มีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชั้น ได้แก่ mucosa, submucosa, muscularis และ serosa จากด้านในออกมาด้านนอก ตามลำดับ

**1. Mucosa** เป็นชั้นเยื่อเมือกที่บุภายในท่อทางเดินอาหาร ประกอบด้วยเนื้อเยื่อสำคัญ 3 ชั้น

**1.1 epithelium** เป็นชั้นเนื้อบุผิวที่สัมผัสโดยตรงกับอาหาร มีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละส่วนของท่อทางเดินอาหาร

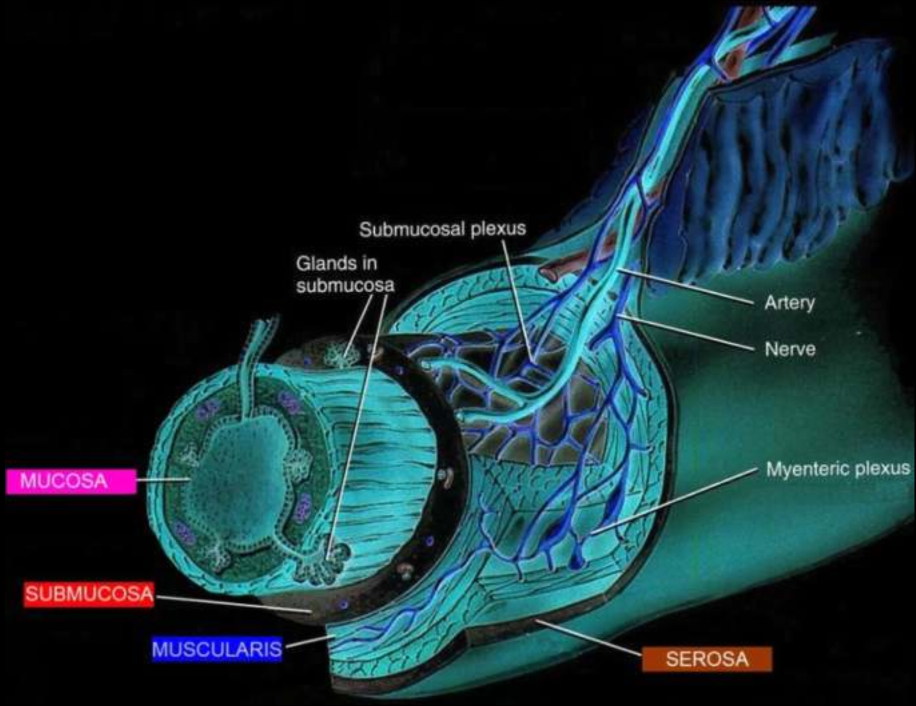
**1.2 lamina propria** เป็นชั้นของเนื้อยึดต่อที่เรียงตัวกันหลวมๆ มีหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลืองเป็นจำนวนมาก อาจพบกลุ่มของเนื้อเยื่อน้ำเหลืองกระจายอยู่ทั่วไป ชั้นนี้ทำหน้าที่ค้ำจุนเนื้อบุผิวและยึดต่อให้ติดกับชั้นกล้ามเนื้อข้างใต้ รวมทั้งเป็นทางผ่านของหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลืองสำหรับขนส่งสารอาหารที่ถูกดูดซึมไปยังส่วนอื่นของร่างกาย นอกจากนี้เนื้อเยื่อน้ำเหลืองยังช่วยป้องกันไม่ให้เชื้อโรคที่ปนมากับอาหารผ่านผนังท่อทางเดินอาหารเข้าสู่ร่างกาย

**1.3 muscularis mucosae** ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ 2 ชั้น ชั้นในสุดมีการเรียงตัวของเส้นใยเป็นวงกลม ชั้นนอกเรียงตัวตามยาว การหดตัวของกล้ามเนื้อจะทำให้อาหารคลุกเคล้ากับน้ำย่อย และช่วยผลักไล่อาหารลงสู่ส่วนล่าง ๆ ของทางเดินอาหาร

**2. Submucosa** เป็นเนื้อยึดต่อที่เรียงตัวกันหนาแน่น ช่วยยึดชั้น mucosa ไว้กับชั้นกล้ามเนื้อ ชั้นนี้มีหลอดเลือดเป็นจำนวนมาก พบปมประสาทและข่ายประสาทเรียกว่า **submucosal plexus (Meissner's plexus)** ซึ่งเป็นประสาทอัตโนมัติที่เข้ามาเลี้ยงกล้ามเนื้อเรียบในชั้น muscularis mucosae ข่ายประสาทนี้มีหน้าที่ในการควบคุมการหลั่งสารภายในท่อทางเดินอาหาร

**3. Muscularis** เป็นชั้นกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการบีบตัวของท่อทางเดินอาหาร ในส่วนของปาก คอหอย และหลอดอาหารส่วนต้น เป็นกล้ามเนื้อลายที่ทำให้เกิดการกลืนภายใต้อำนาจจิตใจ ส่วนที่เหลือของทางเดินอาหารจะเป็นกล้ามเนื้อเรียบ โดยทั่วไปพบว่ากล้ามเนื้อเรียบมีการเรียงตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อเป็น 2 ชั้น ชั้นในสุดเรียงตัวเป็นวงกลม ชั้นนอกเรียงตัวตามยาว การหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบทำให้เกิดการบีบตัวของท่อทางเดินอาหารเพื่อให้อาหารผ่านไปตามส่วนต่างๆ ของท่อ โดยการควบคุมของระบบประสาทอัตโนมัติผ่านทางปมประสาทและข่ายประสาทที่แทรกอยู่ระหว่างกล้ามเนื้อเรียบชั้นนอกกับชั้นใน เรียกว่า **Myenteric plexus** ซึ่งส่วนใหญ่เป็นระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

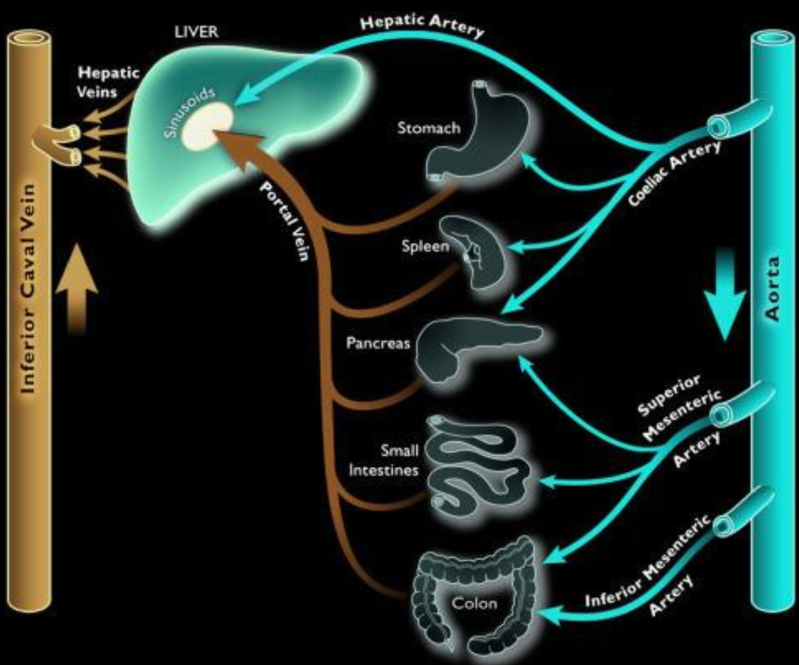
**4. Serosa** เป็นชั้นที่เกิดจากเยื่อบุช่องท้อง มาหุ้มล้อมรอบท่อทางเดินอาหารในส่วนที่อยู่ใต้กระบังลม สำหรับ ท่อทางเดินอาหารบางส่วนที่ไม่มีเยื่อบุช่องท้องมาหุ้ม เรียกผนังชั้นนี้ว่า **adventitia**




รูปที่ 9-3 ภาพแสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคโดยทั่วไปของท่อทางเดินอาหาร

## 1.3 การไหลเวียนเลือดในระบบย่อยอาหาร

การไหลเวียนเลือดในระบบย่อยอาหาร เรียกว่า **splanchnic circulation** เลือดที่ออกจากหัวใจประมาณ 20-25% จะเข้าสู่อวัยวะในช่องท้อง ซึ่งปกติมีอัตราการไหลเวียนประมาณ 1,250-1,500 มล.ต่อนาที




รูปที่ 9-3 แสดงการไหลเวียนเลือดในระบบย่อยอาหาร
(ที่มา : https://www.bjaed.org/article/S2058-5349(17)30113-0/fulltext)

อัตราการไหลเวียนขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังรับประทานอาหาร เนื่องจากมีการย่อยและการดูดซึม รวมทั้งการนำสารอาหารที่ถูกดูดซึมแล้วไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย หลังจากที่เลือดผ่านกระเพาะอาหาร ลำไส้ และตับอ่อน จะกลับเข้าสู่ตับทางหลอดเลือดดำ portal vein และเมื่อออกจากตับทางหลอดเลือดดำ hepatic vein จะเข้าสู่ inferior vena cava

## 1.4 ระบบประสาทของทางเดินอาหาร

กล้ามเนื้อของทางเดินอาหาร สามารถหดตัวคลายตัวได้เอง โดยไม่ต้องมีเส้นประสาทมาสั่งการ ระบบประสาทที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของทางเดินอาหาร ดังนี้

### 1.4.1 ระบบประสาทภายนอก

=> **ระบบประสาท Sympathetic** การกระตุ้นประสาท sympathetic จะมีผลยับยั้งการเคลื่อนไหว การหลั่ง และจะมีผลกระตุ้นทำให้กล้ามเนื้อหูรูดหดตัว

=> **ระบบประสาท Parasympathetic** เส้นประสาท parasympathetic ไปยังทางเดินอาหารลงไปจนถึงลำไส้ใหญ่ส่วนขวางเป็นแขนงของประสาทเวกัส (vagus nerve) ส่วนที่เหลือของลำไส้ใหญ่ ไส้ตรง และทวารหนัก เป็นแขนงของเส้นประสาทเพลวิก (pelvic nerve) การกระตุ้นเส้นประสาท parasympathetic จะเพิ่มการเคลื่อนไหวและการหลั่งของทางเดินอาหาร

### 1.4.2 ระบบประสาทภายในทางเดินอาหาร (Enteric nervous system, ENS)

กระเพาะอาหารและลำไส้ มีการบีบตัวและคลายตัวเป็นระยะแม้ถูกตัดขาดออกมาจากร่างกาย เนื่องจากมีความเป็นอัตโนมัติของกล้ามเนื้อเรียบและระบบประสาทในผนังทางเดินอาหารเอง เราเรียกระบบประสาท เซลล์ประสาทและเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับประสาทซึ่งอยู่ในผนังทางเดินอาหารเหล่านี้ว่า enteric nervous system (ENS) ประกอบด้วย

=> **Myenteric plexus (Auerbach's plexus)** อยู่ระหว่างชั้นกล้ามเนื้อที่เรียงตัวตามยาวและตามขวางของผนังลำไส้ ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของลำไส้

=> **Submucosal plexus (Meissner's plexus)** อยู่ในเนื้อเยื่อชั้น submucosa ทำหน้าที่ควบคุมการหลั่งน้ำย่อยและสารน้ำในลำไส้

## 1.5 ฮอร์โมนของทางเดินอาหาร (GI hormone)

Bayliss และ Starling เป็นผู้ค้นพบฮอร์โมนจากทางเดินอาหาร ชนิดแรกในปี ค.ศ.1901 และตั้งชื่อว่า secretin โดยทำการทดลองในสัตว์ซึ่งเจจูนัมส่วนหนึ่งถูกเลาะเส้นประสาทออก เมื่อใส่กรดเกลือลงในเจจูนัมส่วนนั้นแล้ว มีผลให้ตับอ่อนหลั่งน้ำย่อยได้

ฮอร์โมนจากทางเดินอาหารทุกตัวเป็นโพลีเปปไทด์สายเดี่ยว เซลล์ต้นตอที่ผลิตเปปไทด์เหล่านี้เรียกรวมว่า APUD cell (amine precursor uptake and decarboxylation cell) ซึ่งสร้างเปปไทด์หลายชนิดมีหน้าที่ปรับการเคลื่อนไหว การหลั่ง การดูดซึม และมีผลต่อการเจริญของเนื้อเยื่อบางส่วนในทางเดินอาหารด้วย ฮอร์โมนในทางเดินอาหาร แบ่งตามโครงสร้างที่คล้ายกันได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มแกสตริน (Gastrin family) ได้แก่ gastrin, cholecystokinin (CCK)
2. กลุ่มซีครีติน (Secretin family) ได้แก่ secretin, gastric inhibitory peptide (GIP), vasoactive intestinal peptide (VIP) และ glucagon
3. เปปไทด์อื่นๆ ที่มีโครงสร้างคล้ายกัน

## 1. กลุ่มแกสตริน (Gastrin family)

**1.1 แกสตริน (Gastrin)** แกสตรินเป็นเปปไทด์ที่สร้างจาก G cells ในบริเวณกระเพาะอาหารส่วนแอนทรัม และลำไส้เล็กส่วนต้น มีหน้าที่ ดังนี้

1) กระตุ้น parietal cells ที่เยื่อบุกระเพาะอาหารให้หลั่งกรด
2) กระตุ้น enterochromaffin cells ให้หลั่งฮิสตามิน
3) กระตุ้น chief cells ที่เยื่อบุกระเพาะอาหารให้หลั่งเปปซิน
4) กระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์เยื่อบุกระเพาะอาหาร
5) เพิ่มปริมาณเลือดที่มาเลี้ยงกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก
6) เพิ่มการบีบตัวของหูรูดหลอดอาหารส่วนล่าง กระเพาะอาหาร ถุงน้ำดี
7) ทำให้ pylorus และ sphincter of Oddi คลายตัว

**การควบคุมการหลั่งแกสตริน**

การกระตุ้นการหลั่งแกสตริน ได้แก่ เปปไทด์และกรดอมิโนในกระเพาะอาหาร โดยเฉพาะ phenylalanine และ tryptophan เป็นตัวกระตุ้นที่สำคัญที่สุด การยืดของกระเพาะอาหาร และสิ่งกระตุ้นอื่นๆ เช่น กาแฟ เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เป็นต้น ตัวยับยั้งการหลั่งแกสตริน ได้แก่ ความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร (pH<3)

**1.2 โคลีซีสโตไคนิน (Cholecystokinin, CCK หรือ Pancreozymin)** เป็นเปปไทด์ที่สร้างจาก I cells ในเยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้น ส่วนบนของลำไส้เล็กส่วนกลาง และจากเซลล์ประสาทใน myenteric และ submucosal plexus ของลำไส้ใหญ่ I cells หลั่ง CCK เมื่อมีอาหารที่ถูกย่อยแล้วบางส่วนมาถึงลำไส้เล็กส่วนต้น โดยเฉพาะกรดไขมัน CCK มีหน้าที่ ดังนี้

1) กระตุ้นการบีบตัวของถุงน้ำดี พร้อมกับมีการคลายตัวของ sphincter of Oddi
2) กระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน
3) กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนจากตับอ่อน เช่น pancreatic polypeptide, glucagon, insulin
4) ลดการหลั่งกรดและและการบีบตัวของกระเพาะอาหาร แต่เพิ่มการบีบตัวของลำไส้
5) ทำให้รู้สึกอิ่ม

## 2. กลุ่มซีครีติน (Secretin family)

**2.1 ซีครีติน (Secretin)** เป็นเปปไทด์ที่สร้างจาก S cells ที่เยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้น ถูกหลั่งเมื่อ pH ในดูโอดินั่มลดต่ำกว่า 4.5 ไขมันและเกลือน้ำดีในดูโอดินั่มมีผลการกระตุ้นการหลั่งได้บ้าง ซีครีตินมีหน้าที่ ดังนี้

1) กระตุ้นให้มีการหลั่งไบคาร์บอเนตจากตับอ่อน ตับ และ Brunner's gland ในดูโอดินั่ม
2) เสริมฤทธิ์ของประสาทเวกัส และ CCK ที่มากระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน
3) ยับยั้งแกสตรินและการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร

**2.2 แกสตริกอินฮิบิทอรีเปปไทด์ (Gastric inhibitory peptide, GIP)** เป็นเปปไทด์สร้างจาก K cells ในเยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง มีตัวกระตุ้น คือ อาหารที่ผ่านมาในลำไส้เล็ก มีหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1) ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร
2) กระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งอินสุลิน โดยกลูโคสในลำไส้เล็กเพิ่มการหลั่ง GIP

**2.3 Vasoactive intestinal peptide (VIP)** เป็นเปปไทด์ที่มีบทบาทเป็นสารสื่อประสาทในระบบประสาททางเดินอาหาร โดยออกฤทธิ์กระตุ้นลำไส้เล็กให้หลั่งอิเลคโตรลัยท์และน้ำ พร้อมกับมีฤทธิ์ขยายหลอดเลือด ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร

**2.4 Glucagon** กลูคากอน สร้างจาก A-cell ที่ตับอ่อน มีหน้าที่เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด จะหลั่งเมื่อมีอาหารจำพวกแป้งหรือไขมันมาถึงลำไส้เล็ก มีฤทธิ์ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร

**3. เปปไทด์อื่นๆ**

**3.1 Somatostatin (SS)** สร้างจาก D cell ในตับอ่อนและที่เยื่อบุกระเพาะอาหารลำไส้ D cell หลั่งเมื่อมีไขมัน โปรตีน หรือกรดในกระเพาะอาหาร ออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของทางเดินอาหาร ดังนี้

1) ยับยั้งการหลั่งกรดจาก parietal cell และยับยั้งการหลั่งแกสตรินจาก G cell
2) ยับยั้งการหลั่งน้ำดี น้ำย่อยจากตับอ่อน
3) ยับยั้งการหลั่งเปปไทด์จากตับอ่อนและทางเดินอาหาร เช่น insulin, glucagon, secretin, motilin, gastrin

**3.2 Motilin** สร้างจาก M cell ในลำไส้เล็กส่วนต้น มีหน้าที่กระตุ้นการเคลื่อนไหวของทางเดินอาหาร โดยเฉพาะในช่วงท้องว่างซึ่งจะมีการบีบตัวไล่จากต้นทางไปปลายทางเป็นชุดๆ ที่เรียกว่า migratory myoelectric complex

**3.3 Bombesin (Gastrin-releasing peptide, GRP)** เป็นสารสื่อประสาทใน enteric nervous system พบสารนี้ที่ปลายประสาทเวกัสซึ่งไปสิ้นสุดที่ G cell มีฤทธิ์กระตุ้นการหลั่งแกสตริน

# ตอนที่ 2
# กายวิภาคศาสตร์ระบบทางเดินอาหาร

## 2.1 ช่องปาก (Mouth, Oral cavity)

ช่องปากเป็นส่วนต้นของท่อทางเดินอาหาร มีขอบเขต ดังนี้

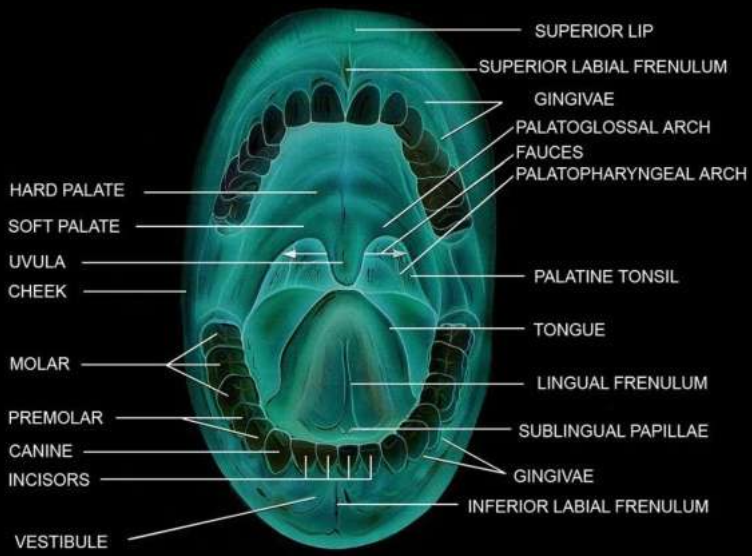
**ด้านหน้าและด้านข้าง** เป็นส่วนของแก้มซึ่งเป็นแผ่นกล้ามเนื้อของหน้า คลุมด้านนอกด้วยผิวหนัง ด้านหน้าของแก้มจะสิ้นสุดโดยกลายเป็นริมฝีปากบนและล่าง

**ด้านบน** เป็นเพดานแข็ง (hard palate) ทางด้านหน้า และเพดานอ่อน (soft palate) ทางด้านหลัง

- เพดานแข็ง เป็นส่วนของกระดูก maxilla และกระดูก palatine คลุมทับด้วยเยื่อเมือก
- เพดานอ่อน เป็นแผ่นกล้ามเนื้อยื่นเข้าไปในคอหอย (pharynx) ปลายสุดด้านหลังมีติ่งยื่นลงมาตรงกลาง เรียกว่า ลิ้นไก่ (uvula) ตรงฐานของลิ้นไก่จะมีสันนูนของกล้ามเนื้อ ลงมาทางด้านข้างของเพดานอ่อน สันนูนที่อยู่ทางด้านหน้าจะวิ่งไปทางด้านข้างของโคนลิ้นเรียกว่า palatoglossal arch (anterior pillar) สันนูนทางด้านหลังจะวิ่งไปทางด้านข้างของคอหอย เรียกว่า palatopharyngeal arch (posterior pillar) แอ่งที่อยู่ระหว่างสันนูนทั้งสองเป็นที่อยู่ของต่อมทอนซิล ที่เรียกว่า palatine tonsil

**ด้านล่าง** เป็นลิ้น (tongue)

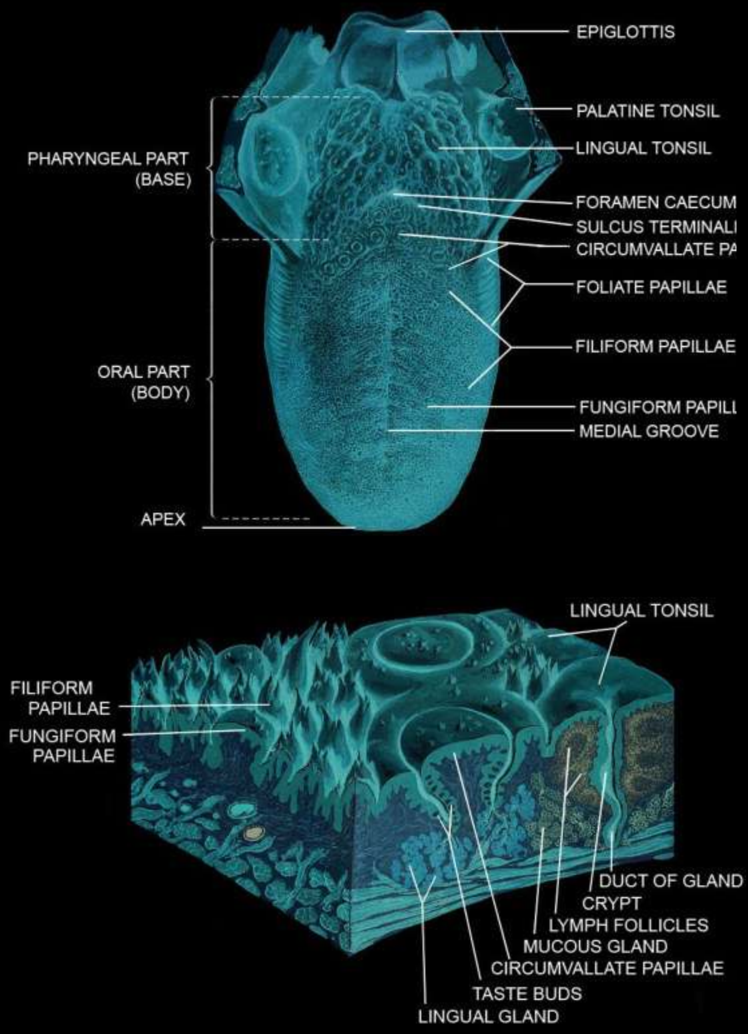
**ด้านหลัง** เป็นทางเปิดติดต่อกับคอหอย เรียกว่า fauces




รูปที่ 9-7 ภาพแสดงอวัยวะต่างๆ ในช่องปาก

## 2.2 ลิ้น (Tongue)

ลิ้นและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องประกอบกันเป็นพื้นของช่องปาก ลิ้นเป็นอวัยวะเสริมในระบบการย่อยอาหาร มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อลายคลุมด้วยเยื่อเมือก ลิ้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ **oral part** หรือตัวลิ้น เป็นส่วนที่อยู่ในช่องปากกับ **pharyngeal part** หรือฐานลิ้นอยู่ในคอหอย โดยทั้งสองส่วนถูกแยกออกจากกันโดยร่องรูปอักษร V เรียกว่า sulcus terminalis ตรงมุมของร่องนี้มีหลุมลึก เรียกว่า foramen caecum




รูปที่ 9-8 ภาพแสดงกายวิภาคของลิ้น (A) และตุ่มนูนเล็กๆ บนลิ้น (B)

ผิวด้านบนและด้านข้างของตัวลิ้นจะมีตุ่มนูนเล็กๆ เรียกว่า papillae มีรูปร่าง 4 แบบ ดังนี้

**1) Filiform papillae** เป็นปุ่มแหลมเล็กรูปโคนกระจายเป็นแถวขนานกันทั่วไปบนลิ้น ทำให้ลิ้นมีลักษณะสาก ตุ่มนูนชนิดนี้สีซีดและไม่มีตุ่มรับรส (taste bud)

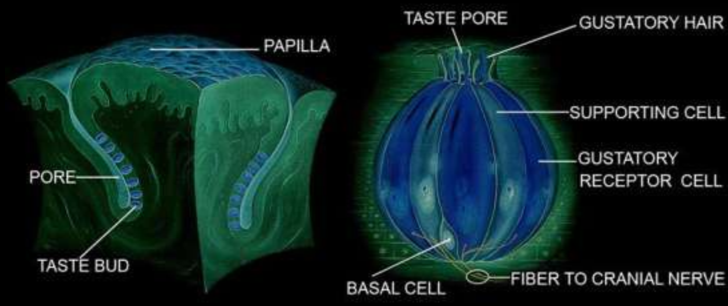
**2) Fugiform papillae** มีรูปร่างเหมือนเห็ด กระจายแทรกอยู่ระหว่าง filiform papillae พบมากที่บริเวณปลายลิ้น เห็นเป็นตุ่มสีแดงกลมๆ เนื่องจากมีหลอดเลือดแดงเข้ามาเลี้ยงมาก ตุ่มนูนชนิดนี้มีตุ่มรับรส

**3) Circumvallate papillae** มีประมาณ 10-12 อัน เรียงตัวเป็นแถวอยู่ตามแนวด้านหน้าของร่อง sulcus terminalis เป็นตุ่มขนาดใหญ่มีร่องเล็กๆ ล้อมรอบ มีตุ่มรับรสจำนวนมาก

**4) Foliate papillae** เป็นสันนูนเล็กๆ ทางด้านข้างของลิ้น ส่วนใหญ่พบในสัตว์

## 2.3 ตุ่มรับรส (Taste bud)

ตุ่มรับรสบนลิ้นทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับรสของอาหาร โดยของเหลวจากอาหารจะซึมผ่านเข้าไปสัมผัสกับ**เซลล์รับรส (gustatory cells)** ทำให้เกิดกระแสประสาทไปสู่สมองโดยผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 ยกเว้นบริเวณฐานลิ้นและบริเวณฝาปิดกล่องเสียงจะผ่านทางเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 และคู่ที่ 10 ตามลำดับ ผิวด้านบนของฐานลิ้นมีลักษณะขรุขระ เป็นที่อยู่ของกลุ่มเนื้อเยื่อน้ำเหลือง เรียกว่า **lingual tonsil**




รูปที่ 9-9 ภาพแสดงตุ่มรับรส

## 2.4 ต่อมน้ำลาย (Salivary gland)

น้ำลายเป็นของเหลวที่ถูกขับออกมาจากต่อมน้ำลาย เพื่อหล่อลื่นและให้ความชุ่มชื้นกับเยื่อเมือกภายในช่องปากและคอหอย เมื่อรับประทานอาหารจะมีการหลั่งน้ำลายเพิ่มขึ้นเพื่อหล่อลื่นและละลายอาหาร น้ำย่อย salivary amylase ในน้ำลายจะย่อยอาหารจำพวกแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ต่อมน้ำลายแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

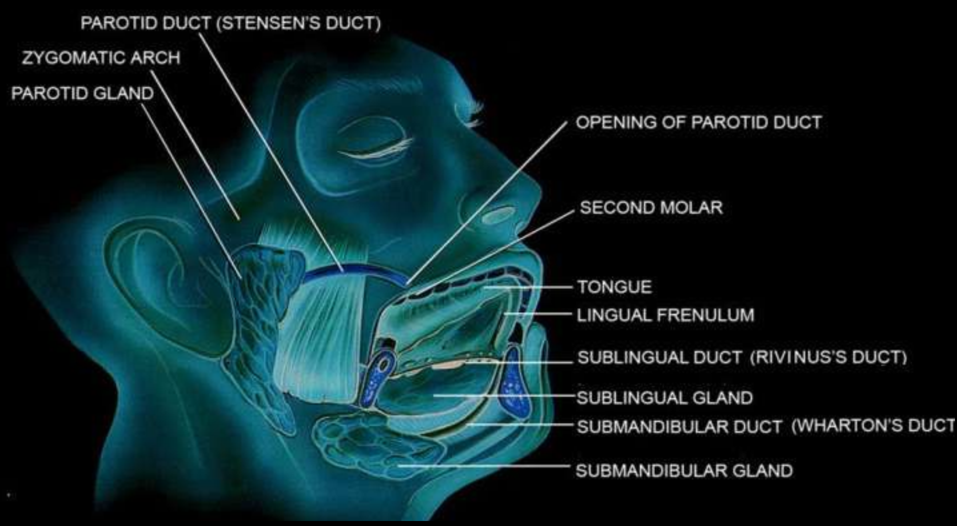
**2.4.1 Minor salivary gland** เป็นต่อมน้ำลายเล็กๆ ที่พบทั่วไปในเยื่อเมือกที่บุภายในช่องปากโดยเฉพาะบริเวณด้านในของริมฝีปาก แก้ม และใต้ลิ้น

**2.4.2 Major salivary gland** เป็นต่อมน้ำลายขนาดใหญ่ที่อยู่นอกช่องปากและสร้างน้ำลายส่งผ่านทางท่อเข้ามาสู่ช่องปาก มี 3 คู่ คือ

**=> Parotid glands** อยู่ด้านหน้าของรูหูโดยอยู่ต่ำกว่ารูหูเล็กน้อย สร้างน้ำลายที่มีลักษณะใส ส่งผ่านท่อ Stensen’s ducts ไปเปิดเข้าสู่ช่องปาก รูเปิดอยู่ที่ผนังด้านในของแก้มตรงข้ามกับฟันกรามบนซี่ที่ 2

**=> Submandibular glands** วางอยู่ใต้มุมของกระดูกขากรรไกรล่างทางด้านใน สร้างน้ำลาย ที่มีลักษณะเหนียวข้น ส่งผ่านท่อ submandibular ducts (Wharton’s ducts) ไปเปิดที่พื้นช่องปาก

**=> Sublingual glands** อยู่ใต้ลิ้นโดยวางตัวอยู่ใต้เยื่อบุพื้นช่องปาก ลักษณะทางจุลกายวิภาคคล้ายกับ submandibular glands มีท่อน้ำลายเล็กๆ มากมาย เรียกว่า lesser sublingual duct หรือ Rivinus’s duct ทะลุจากต่อมผ่านเยื่อเมือกไปเปิดที่พื้นช่องปากโดยตรง

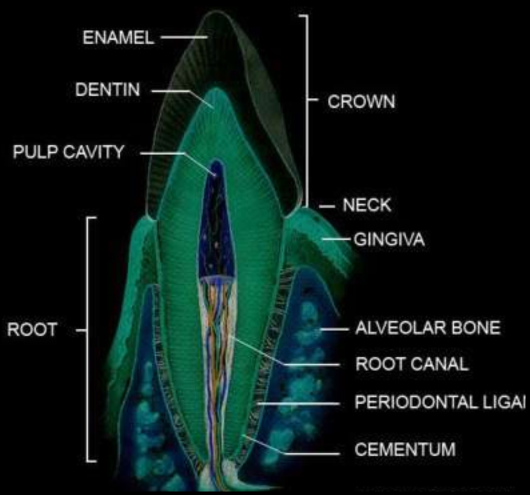



รูปที่ 9-10 แสดงตำแหน่งของต่อมน้ำลายขนาดใหญ่

## 2.5 ฟัน (Teeth)

ฟันแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

1. ตัวฟัน (crown) เป็นส่วนของฟันที่โผล่พ้นเหงือก
2. รากฟัน (root) เป็นส่วนของฟันที่ฝังอยู่ในกระเปาะบน alveolar processes ของกระดูกขากรรไกรบนและล่าง และถูกหุ้มภายนอกด้วยเหงือก
3. คอฟัน (neck) เป็นส่วนคอดที่อยู่ระหว่างตัวฟันกับรากฟัน




รูปที่ 9-11 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของฟัน

ฟันประกอบด้วยเนื้อฟัน (dentine) ซึ่งเป็นเนื้อยึดต่อที่มีแคลเซียมมาตกตะกอน ทำให้ฟันคงรูปร่างและ มีความแข็งแรง เนื้อฟันห่อหุ้มช่องว่างตรงกลางฟัน เรียกว่า pulp cavity ที่บรรจุหลอดเลือด หลอดน้ำเหลืองและเส้นประสาทรับความรู้สึกของฟันที่เข้ามาเลี้ยงฟันทางรูที่ปลายรากฟัน เรียกว่า apical foramen

เนื้อฟันตรงส่วนตัวฟันจะถูกเคลือบด้วย enamel ซึ่งมีองค์ประกอบของ calcium phosphate และ calcium carbonate จึงเป็นโครงสร้างที่แข็งที่สุดในร่างกาย ป้องกันการสึกกร่อนของฟันจากการเคี้ยวและป้องกันไม่ให้เนื้อฟันถูกทำลายโดยกรดภายในปาก ที่รากฟันเนื้อฟันจะถูกเคลือบด้วย cementum ซึ่งมีโครงสร้างเหมือนกระดูกทำหน้าที่ยึดรากฟันไว้กลับเนื้อยึดต่อที่อยู่รอบฟัน

เรียกชื่อฟันตามลักษณะรูปร่างและหน้าที่เป็น 4 ชนิดเรียงจากด้านหน้าไปด้านหลัง ได้แก่

**1. ฟันตัด (incisor)** ลักษณะตัวฟันแบนเป็นรูปลิ่ม มีรากฟันอันเดียว ใช้สำหรับตัดอาหาร

**2. ฟันเขี้ยว (canine or cuspid)** ตัวฟันมียอดแหลม เรียกว่า cusp 1 อัน รูปร่างคล้ายใบหอกมีรากฟันอันเดียว ใช้สำหรับฉีกอาหาร

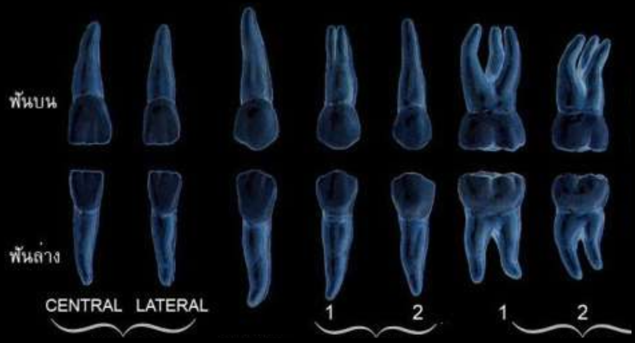
**3. ฟันกรามน้อย (premolar or bicuspid)** ตัวฟันมี cusp 2 อัน และมีรากฟันอันเดียว (ฟันกรามน้อยบนซี่แรกอาจมี 2 ราก) ใช้สำหรับบดเคี้ยวอาหาร

**4. ฟันกราม (molar)** มี cusp 3-5 อัน ฟันกรามบนมี 3 ราก ฟันกรามล่างมี 2 ราก ใช้สำหรับบดเคี้ยวอาหาร

มนุษย์มีฟัน 2 ชุด คือ ฟันน้ำนมและฟันแท้

**1. ฟันน้ำนม (deciduous or milk teeth)** มีจำนวน 20 ซี่ ฟันน้ำนมขึ้นซี่แรก เมื่ออายุ 6 เดือน และครบเมื่ออายุ 2 ปีครึ่ง

**2. ฟันแท้ (permanent teeth)** มีจำนวน 32 ซี่ ประกอบด้วยฟันตัด (incisor) 8 ซี่ ฟันเขี้ยว (canine) 4 ซี่ ฟันกรามน้อย (premolar) 8 ซี่ และฟันกรามใหญ่ (molar) 12 ซี่

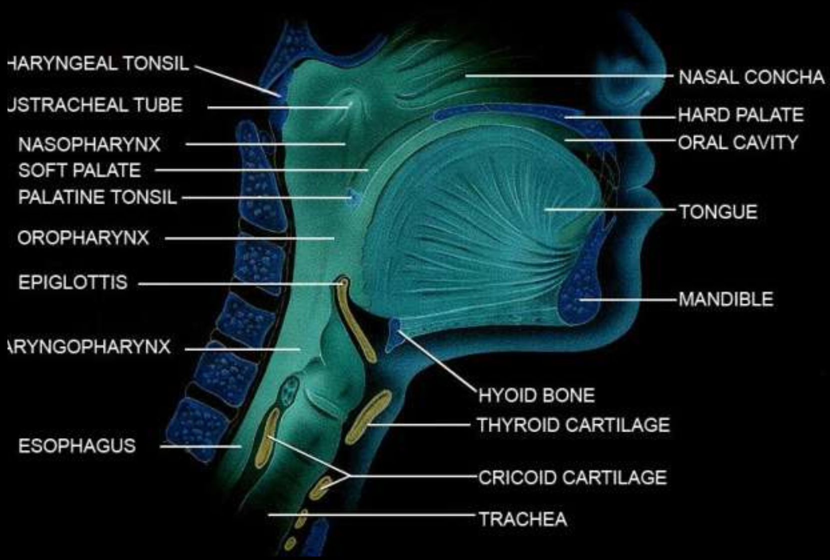



รูปที่ 9-12 แสดงลักษณะของฟันน้ำนมและฟันแท้

## 2.6 คอหอย (pharynx)

คอหอยเป็นท่อรูปกรวย เริ่มจากทางด้านหลังของโพรงจมูกใต้ฐานกะโหลกศีรษะต่อลงไปด้านหลังของช่องปากและกล่องเสียง จนถึงระดับกระดูกอ่อน cricoid โดยวางตัวอยู่หน้าต่อกระดูกสันหลังส่วนคอ ผนังของคอหอยประกอบด้วยกล้ามเนื้อลายบุภายในด้วยเยื่อเมือก ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศและอาหาร คอหอยเป็น 3 ส่วน คือ nasopharynx, oropharynx, laryngopharynx

**2.6.1 Nasopharynx** เป็นส่วนบนสุดของคอหอย วางตัวอยู่ทางด้านหลังของโพรงจมูกลงมาจนถึงระดับของเพดานอ่อน ผนังด้านหลังมีเนื้อเยื่อน้ำเหลืองอยู่ใต้ชั้นเยื่อเมือกเรียกว่า pharyngeal tonsil (adenoid) ผนังด้านข้างมีรูเปิดของ **Auditory (Eustachian) tube** ซึ่งเป็นท่อที่เชื่อมระหว่างหูชั้นกลางกับหอคอย ใช้สำหรับปรับความดันภายในหูชั้นกลางให้เท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก




รูปที่ 9-13 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของคอหอย

**2.6.2 Oropharynx** อยู่ทางด้านหลังของช่องปากเริ่มตั้งแต่เพดานอ่อนทางด้านบนลงไปจนถึงของระดับกระดูก hyoid ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศและอาหาร ในคอหอยส่วนนี้มีเนื้อเยื่อน้ำเหลือง palatine tonsils และ lingual tonsils

**2.6.3 Laryngopharynx** เป็นส่วนล่างสุดอยู่ทางด้านหลังของกล่องเสียงเริ่มตั้งแต่ระดับกระดูก hyoid ลงไปจนถึงระดับกระดูกอ่อน cricoid เปิดเข้าสู่กล่องเสียงทางด้านหน้าและเปิดเข้าสู่หลอดอาหารทางด้านหลัง เป็นทางผ่านของทั้งอากาศและอาหาร

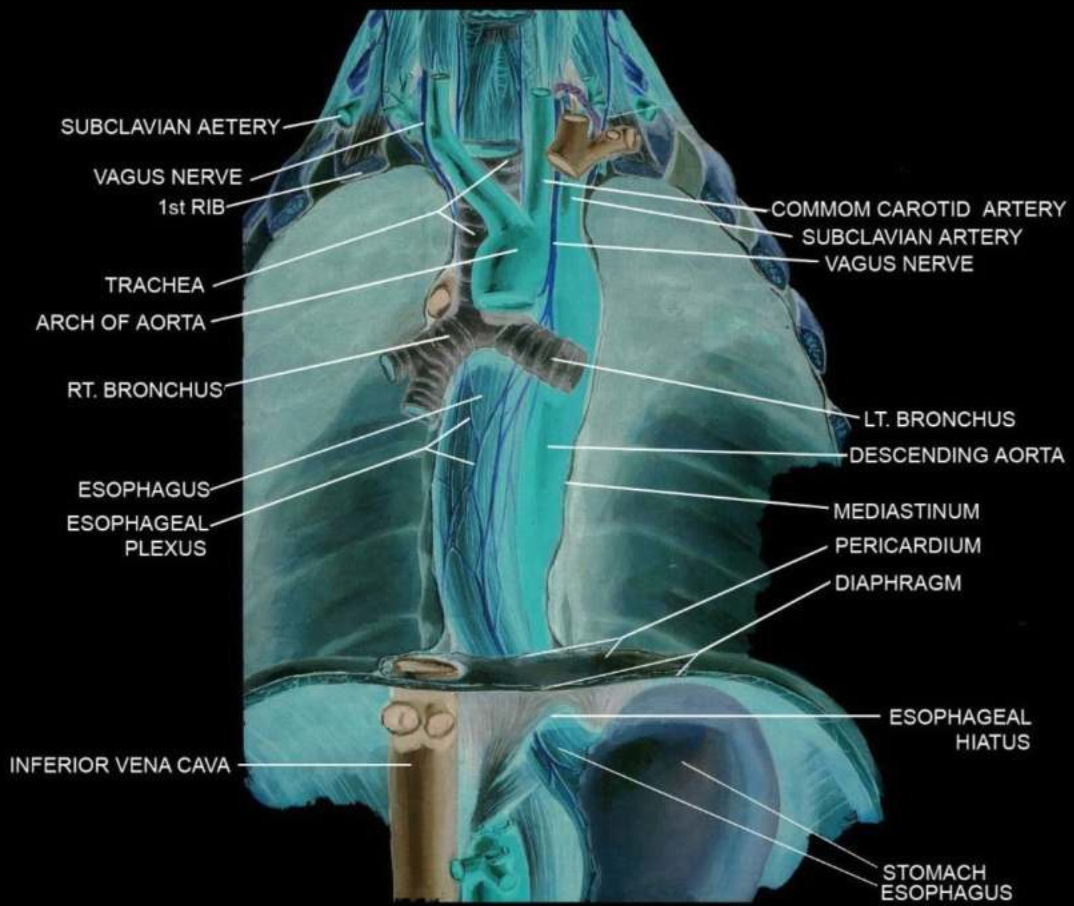
## 2.7 หลอดอาหาร (Esophagus)

หลอดอาหารเป็นท่อกล้ามเนื้อยาวประมาณ 10 นิ้ว วางตัวอยู่หลังหลอดลม เริ่มตั้งแต่ส่วนปลายของ laryngopharynx ผ่านลงมาในเนื้อกลางอก (mediastinum) โดยอยู่หน้าต่อกระดูกสันหลัง ลอดผ่านกะบังลมทางรูเปิดที่เรียกว่า esophageal hiatus เข้าสู่กระเพาะอาหาร

**จุลกายวิภาคของหลอดอาหาร**

หลอดอาหาร ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น เรียงจากด้านในออกมาด้านนอก ดังนี้

**1. Mucosa** ประกอบด้วย nonkeratinized stratified squamous epithelium, lamina propria และ muscularis mucosae ในส่วนที่อยู่ใกล้กับกระเพาะอาหารจะพบต่อมมูก

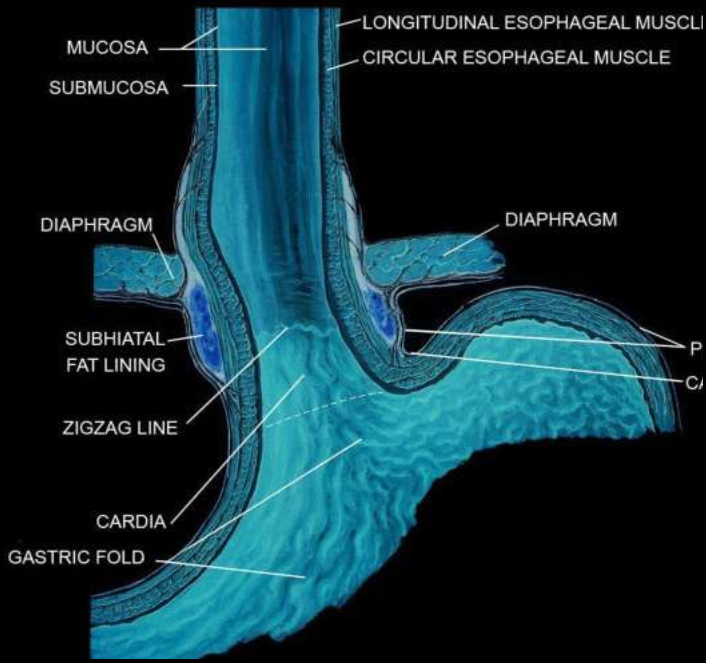



รูปที่ 9-14 แสดงกายวิภาคของหลอดอาหาร

**2. Submucosa** เป็นชั้นของเนื้อยึดต่อที่บรรจุหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลือง พบต่อมมูกประปราย

**3. Muscularis** ชั้นกล้ามเนื้อของหลอดอาหารมีลักษณะพิเศษ คือ ส่วนบน 1/3 เป็นกล้ามเนื้อลายทั้งหมด ส่วนกลาง 1/3 มีทั้งกล้ามเนื้อเรียบและลายปนกัน และส่วนล่าง 1/3 เป็นกล้ามเนื้อเรียบทั้งหมด

**4. Adventitia** ผนังชั้นนอกสุดของหลอดอาหารเป็นเนื้อยึดต่อที่เรียงตัวกันหลวมๆ โดยไม่มีเนื้อบุผิว (mesothelium) คลุมทับ และต่อเนื่องไปประสานกับเนื้อยึดต่อที่หุ้มอวัยวะใกล้เคียง




รูปที่ 9-15 แสดงกายวิภาคของรอยต่อของหลอดอาหารกับกระเพาะอาหาร

## 2.8 กระเพาะอาหาร (Stomach)

กระเพาะอาหารเป็นส่วนของท่อทางเดินอาหารที่โป่งพองเป็นรูปอักษรตัวเจ วางตัวอยู่บริเวณลิ้นปี่ ค่อนมาทางบริเวณใต้ชายโครงด้านซ้ายของช่องท้องส่วนบนสุดของกระเพาะอาหารต่อเนื่องลงมาจากหลอดอาหาร ส่วนล่างเปิดเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วน duodenum ทางด้านหน้าของกระเพาะอาหารเป็นผนังหน้าท้อง ทางด้านหลังสัมพันธ์กับไตซ้าย ต่อมหมวกไต ตับอ่อนและม้ามโดยมีกระบังลมคลุมอยู่ด้านบน

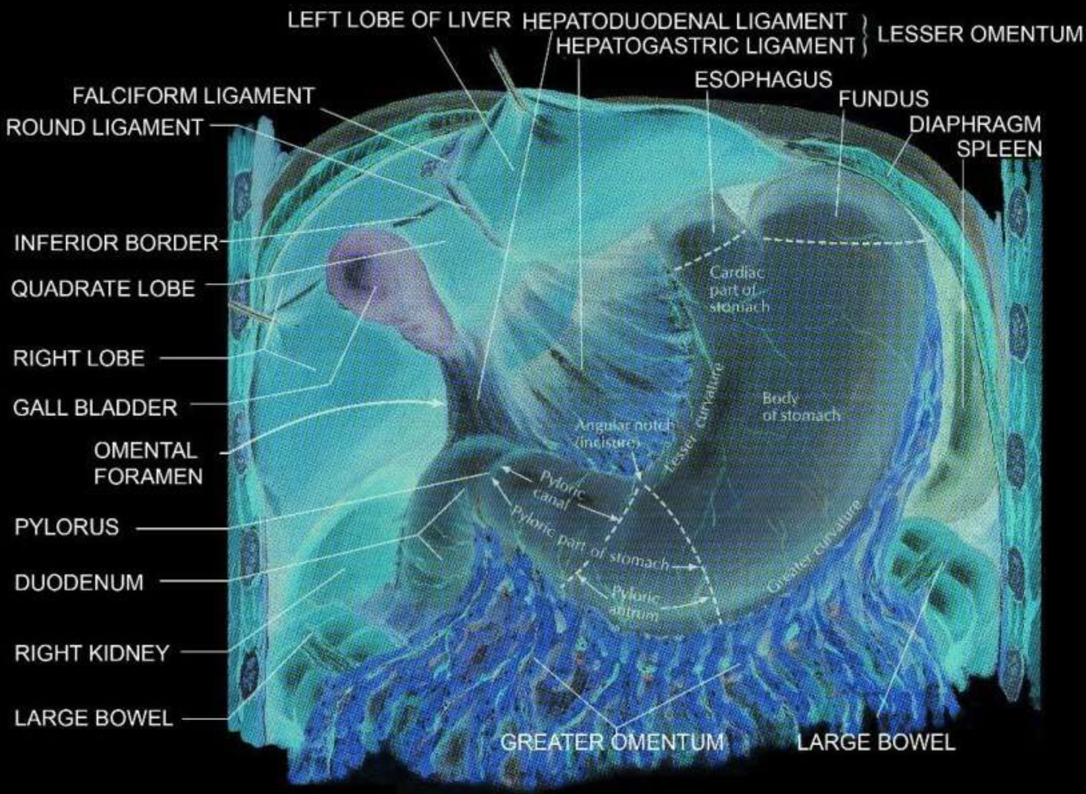
ในทางกายวิภาค แบ่งกระเพาะอาหารออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

**1. Cardia** เป็นส่วนที่อยู่รอบรูเปิดของหลอดอาหาร

**2. Fundus** เป็นส่วนกระพุ้งกลมที่อยู่ทางซ้ายเหนือต่อส่วน cardia

**3. Body** เป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดอยู่ตรงส่วนกลางของกระเพาะอาหาร

**4. Pylorus** เป็นส่วนที่แคบที่สุดอยู่บริเวณปลายล่างของกระเพาะอาหาร ติดต่อกับลำไส้เล็กส่วนต้น กระเพาะอาหารส่วนนี้ยังแบ่งเป็นส่วนย่อยอีก 2 ส่วน ได้แก่ **pyloric antrum** เป็นส่วนที่ขยายกว้างออกเล็กน้อยกับ **pyloric canal** ซึ่งเป็นรูแคบมีกล้ามเนื้อหูรูดหุ้มล้อมรอบเรียกว่า **pyloric sphincter**

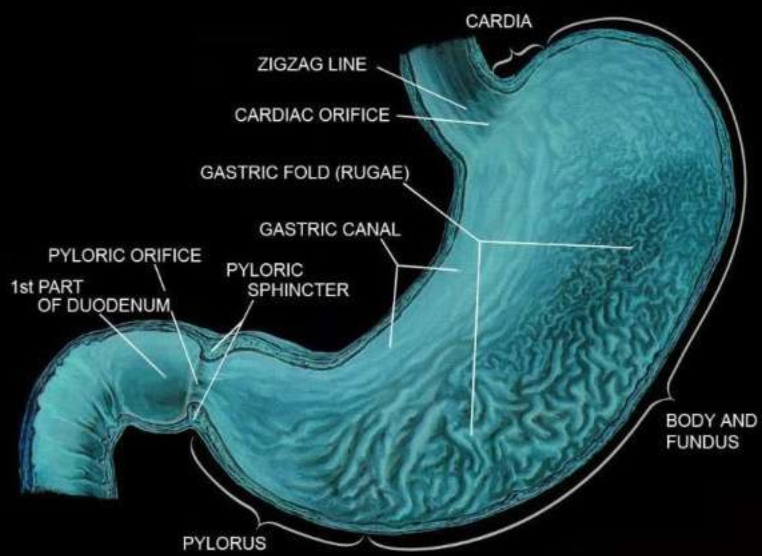



รูปที่ 9-16 แสดงกายวิภาคของกระเพาะอาหาร

ลักษณะภายนอกของกระเพาะอาหารจะมีขอบโค้ง (curvature) 2 ข้าง คือ

**1. Lesser curvature** อยู่ทางด้านขวาของกระเพาะอาหารขอบด้านนี้มีแผ่นของเยื่อบุช่องท้องเรียกว่า lesser omentum แผ่ยึดระหว่างกระเพาะอาหารกับขั้วของตับ บนส่วนโค้งมีร่องที่เกิดจากการหักมุมของกระเพาะอาหารจากแนวดิ่งไปทางขวา เรียกว่า angular incisures (angular notch)

**2. Greater curvature** อยู่ทางด้านซ้าย มีแผ่นเยื่อบุช่องท้องแผ่ลงไปคลุมขดของลำไส้เล็กทางด้านล่างแล้วพับทบกลับขึ้นมายึดกับลำไส้ใหญ่ส่วนขวาง เรียกว่า greater omentum




รูปที่ 9-17 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของผนังภายในกระเพาะอาหาร

**จุลกายวิภาคของกระเพาะอาหาร**

ผนังของกระเพาะอาหาร มี 4 ชั้น ได้แก่ Mucosa, Submucosa, Muscularis, Serosa

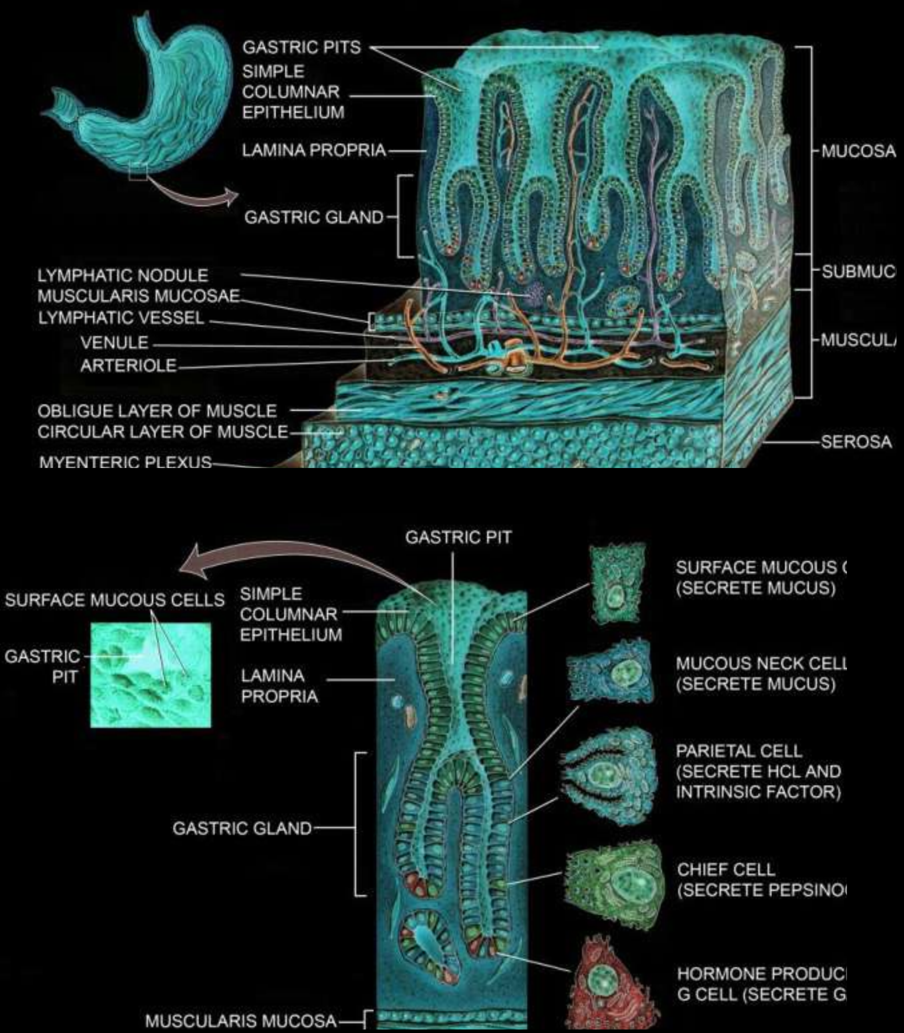
**1. Mucosa** ชั้นเยื่อเมือกบุด้วย simple columnar epithelium มีท่อของต่อมกระเพาะอาหารมาเปิดออกมากมาย เรียกรูเปิดนี้ว่า gastric pits ต่อมกระเพาะอาหาร (gastric glands) ประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด คือ

**1.1 chief (zymogenic or pepsin) cell** พบมากที่ส่วนฐานของต่อม เซลล์มีหน้าที่สร้าง pepsinogen เมื่อสารนี้ถูกกับกรดในกระเพาะอาหารจะเปลี่ยนเป็น pepsin ซึ่งเป็นน้ำย่อยสำหรับย่อยโปรตีน

**1.2 parietal (oxyntic) cell** พบมากตรงส่วนกลางของต่อม มีหน้าที่สร้างกรดเกลือ (hydrochloric acid) และสาร intrinsic factor ที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมวิตามิน บี 12

**1.3 mucous neck cells** อยู่บริเวณคอของต่อม ลักษณะเป็นเซลล์รูปทรงกระบอก ทำหน้าที่สร้างเมือกมาเคลือบผิวของต่อมป้องกันไม่ให้เนื้อต่อมถูกทำลายโดยน้ำย่อยและกรดที่ต่อมสร้างออกมา

**1.4 enteroendocrine cells** ทำหน้าที่เป็นต่อมไร้ท่อ สร้างฮอร์โมนแกสตริน ควบคุมการหลั่งกรดและน้ำย่อยของกระเพาะอาหาร การหดตัวของหลอดอาหารส่วนล่างและการคลายตัวของหูรูดกระเพาะอาหาร

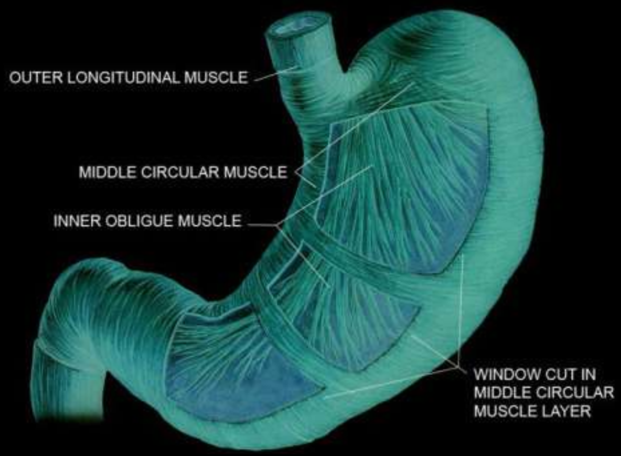



รูปที่ 9-18 จุลกายวิภาคของกระเพาะอาหาร

**2. Submucosa** ประกอบด้วยเนื้อยึดต่อที่เรียงตัวกันหลวมๆ ยึดชั้นเมือกไว้กับชั้นกล้ามเนื้อ

**3. Muscularis** ชั้นกล้ามเนื้อของกระเพาะอาหารแตกต่างจากชั้นกล้ามเนื้อของท่อทางเดินส่วนอื่น เนื่องจากประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ 3 ชั้น ชั้นนอกสุดเรียงตัวตามยาว (longitudinal) ชั้นกลางเรียงตัวเป็นวงรอบ (circular) และชั้นในเรียงตัวเป็นแนวเฉียง (oblique) บริเวณ pylorus กล้ามเนื้อชั้นกลางจะหนาตัวขึ้นทำหน้าที่เป็นหูรูดกระเพาะอาหาร (pyloric sphincter)

**4. Serosa** เป็นเนื้อยึดต่อที่คลุมด้วย mesothelium

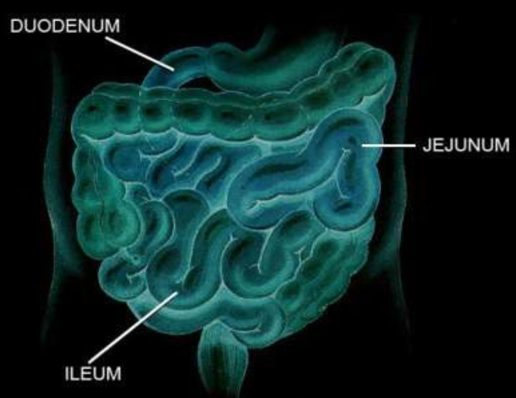



รูปที่ 9-20 แสดงลักษณะชั้นกล้ามเนื้อของกระเพาะ

## 2.9 ลำไส้เล็ก (Small intestine)

การย่อยอาหารและการดูดซึมอาหารเข้าสู่กระแสเลือดส่วนใหญ่เกิดขึ้นตรงส่วนที่ยาวที่สุดของท่อทางเดินอาหารเรียกว่าลำไส้เล็ก ซึ่งเริ่มตั้งแต่ pyloric sphincter ของกระเพาะอาหาร ขดไปมาอยู่ตรงส่วนกลางและส่วนล่างของช่องท้องจนถึง ileocaecal valve จึงเปิดเข้าสู่ลำไส้ใหญ่

ลำไส้เล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้วและมีความยาวประมาณ 21 ฟุต ส่วนใหญ่มีแผ่นเยื่อบุช่องท้องยึดลำไส้ไว้กับผนังด้านหลังของช่องท้อง เรียกว่า เยื่อแขวนลำไส้ (mesentery) ลำไส้เล็กแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ




รูปที่ 9-21 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้เล็ก

**1. Duodenum** เป็นลำไส้เล็กส่วนต้นที่สั้นที่สุด มีความยาวประมาณ 10 นิ้ว เริ่มตั้งแต่ pyloric sphincter ไปจนถึงจุดต่อกับลำไส้เล็กส่วนกลาง ตรงบริเวณที่เรียกว่า duodenojejunal flexure วางตัวอยู่ที่ผนังช่องท้องทางด้านหลังโดยขดเป็นรูปอักษร C ภายใน duodenum ช่วงกลางมีตุ่มนูน 2 อัน อันที่อยู่สูงกว่าเรียกว่า **minor duodenal papilla** มีรูเปิดของท่อน้ำย่อยจากตับอ่อน (accessory pancreatic duct) ตุ่มนูนอีกอันอยู่ต่ำลงมาประมาณ 2.5 ซม. มีขนาดใหญ่กว่าเรียกว่า **major duodenal papilla** มีรูเปิดของ hepatopancreatic ampulla (ampulla of Vater) ซึ่งเป็นทางออกร่วมกันของท่อหลักของตับอ่อน (main pancreatic duct) และท่อน้ำดีร่วม (common bile duct)




รูปที่ 9-22 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้เล็กส่วนต้น

**2. Jejunum** เป็นลำไส้เล็กส่วนกลาง ยาวประมาณ 8 ฟุต ขดตรงส่วนกลางของช่องท้องรอบสะดือ

**3. Ileum** เป็นลำไส้เล็กส่วนปลาย ยาวประมาณ 12 ฟุต อยู่ต่ำกว่าสะดือ ติดต่อกับลำไส้ใหญ่บริเวณ ileocaecal valve

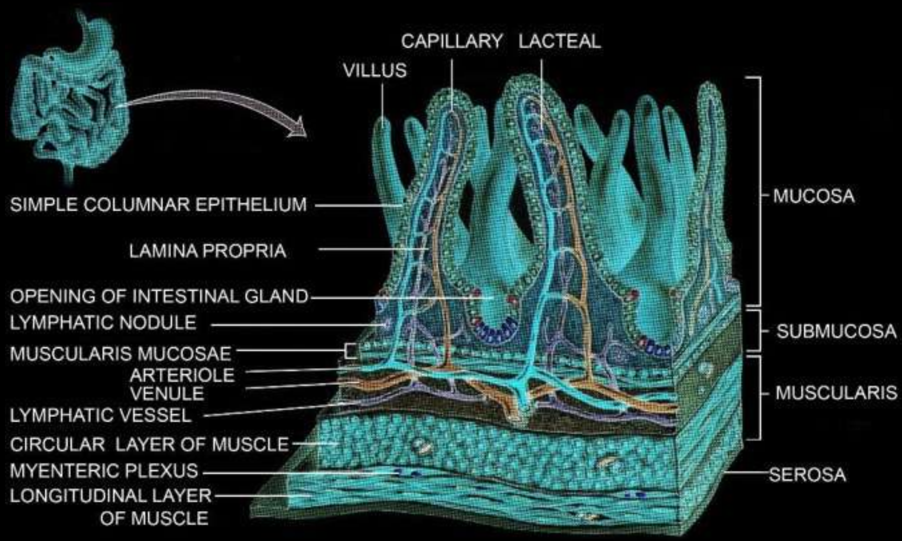
ลำไส้เล็กส่วนกลางและส่วนปลาย ไม่มีจุดแบ่งระหว่างลำไส้ทั้ง 2 ส่วนนี้อย่างชัดเจน ลักษณะที่ใช้สังเกตความแตกต่างได้ คือลำไส้เล็กส่วนกลางจะกว้างกว่า ผนังหนากว่า สีแดงสดกว่า ภายในมีรอยพับจีบตามขวาง (plica circulares) ชัดเจนและมีจำนวนมาก ส่วนลำไส้เล็กส่วนปลายจะมีเนื้อเยื่อน้ำเหลืองที่ผนัง เห็นเป็นแผ่นนูน เรียกว่า **Peyer's patches**




รูปที่ 9-23 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้เล็กส่วน jejunum และ ileum

**จุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก**

ผนังของลำไส้เล็กมี 4 ชั้น ได้แก่ Mucosa, Submucosa, Muscularis, Serosa




รูปที่ 9-24 แสดงจุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก

**1. Mucosa** ชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กมีลักษณะพิเศษมองดูคล้ายผิวกำมะหยี่ เนื่องจาก การยื่นขึ้นไปของชั้นเยื่อเมือกเป็นโครงสร้างเรียกว่า **villi** มีความยาว 0.5-1 มม. และพบประมาณ 10-40 อันต่อ ตร.มม. ของผิวลำไส้ พบมากที่ jejunum การจัดเรียงตัวของชั้นเยื่อเมือกในลักษณะนี้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอาหารกับลำไส้เล็กให้มากขึ้น ทำให้การย่อยและการดูดซึมมีประสิทธิภาพสูง ผิวของ villi ประกอบด้วยเซลล์ที่ทำหน้าที่ดูดซึมสารอาหาร ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงผนังเซลล์ด้านที่สัมผัสอาหารให้เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายนิ้วมือเล็กๆ เรียกว่า **microvilli** ซึ่งช่วยเพิ่มผิวสัมผัสของเซลล์ในการดูดซึมด้วย

แกนของ villi คือชั้น lamina propria ซึ่งเป็นเนื้อยึดต่อที่มีร่างแหของหลอดเลือดเล็กๆ ฝังอยู่เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบหลอดน้ำเหลืองขนาดเล็ก เรียกว่า **Lacteal** อยู่ตรงแกนกลางของ villi สารอาหารที่ถูกดูดซึมโดยเซลล์ของเนื้อบุผิวของลำไส้จะแพร่ผ่านเข้าสู่หลอดเลือดและหลอดน้ำเหลืองตรงแกนของ villi เพื่อเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตและระบบน้ำเหลืองต่อไป

ตรงโคนของ villi จะมีรูเปิดของ intestinal glands (crypts of Lieberkuhn) ทำหน้าที่สร้างน้ำย่อยของลำไส้เล็ก ต่อมประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด

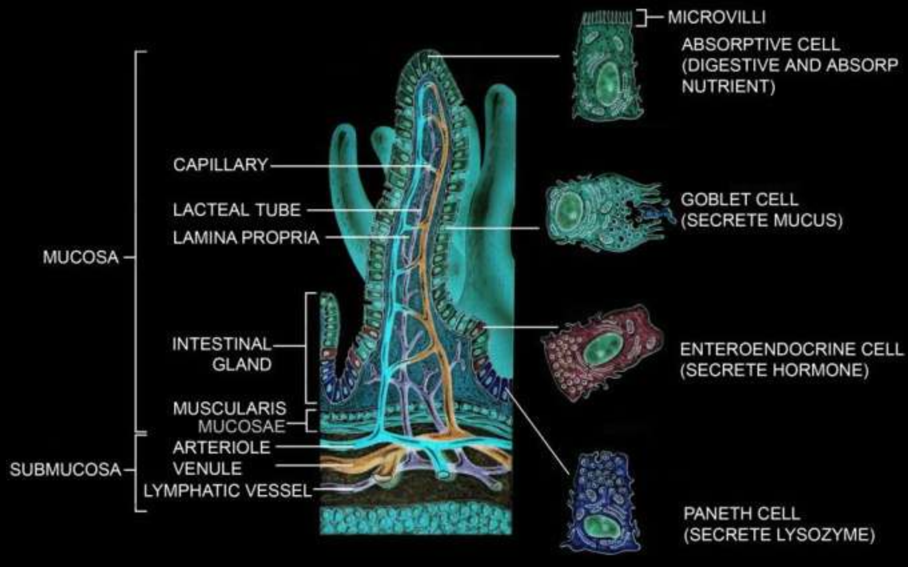
**1) Absorptive cells หรือ enterocyte** เป็นเซลล์ของเนื้อเยื่อบุผิวที่ต่อเนื่องลงมาในต่อมทำหน้าที่เกี่ยวกับการดูดซึมและสร้างน้ำย่อยบางชนิด เช่น lactase, sucrase, peptidase เป็นต้น

**2) Goblet cells** เป็นเซลล์ที่พบมากบริเวณ villi ทำหน้าที่สร้างเมือก

**3) Enteroendocrine cells** ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน

**4) Paneth cells** พบบริเวณส่วนล่างของต่อม ทำหน้าที่สร้าง lysozyme สำหรับทำลายแบคทีเรียที่ปะปนมากับอาหาร

**2. Submucosa** เป็นเนื้อยึดต่อที่มีหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลืองเป็นจำนวนมาก ชั้นนี้มีลักษณะพิเศษ คือ พบต่อมเมือก เรียกว่า duodenal (Brunner's) glands เป็นจำนวนมาก หน้าที่สร้างเมือกที่มีฤทธิ์เป็นด่างเพื่อป้องกันผนังลำไส้เล็กไม่ให้ถูกทำลายโดยน้ำย่อยและกรดจากกระเพาะอาหารและปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของอาหาร ให้เหมาะสมสำหรับการย่อยโดยน้ำย่อยในลำไส้เล็กต่อไป




รูปที่ 9-25 แสดงเซลล์ต่างๆของ intestinal glands

**3. Muscularis** ประกอบด้วยชั้นกล้ามเนื้อเรียบ 2 ชั้น ชั้นนอกเรียงตามยาว ชั้นในเรียงเป็นวงรอบ

**4. Serosa** ลำไส้ส่วนกลางและส่วนปลายมีเยื่อบุช่องท้องหุ้มรอบและยึดกับผนังช่องท้องด้านหลังด้วยเยื่อแขวนลำไส้ สำหรับลำไส้เล็กส่วนต้นนั้นมีเยื่อบุช่องท้องหุ้มเป็นบางส่วนเท่านั้น

**การเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมของลำไส้เล็ก**

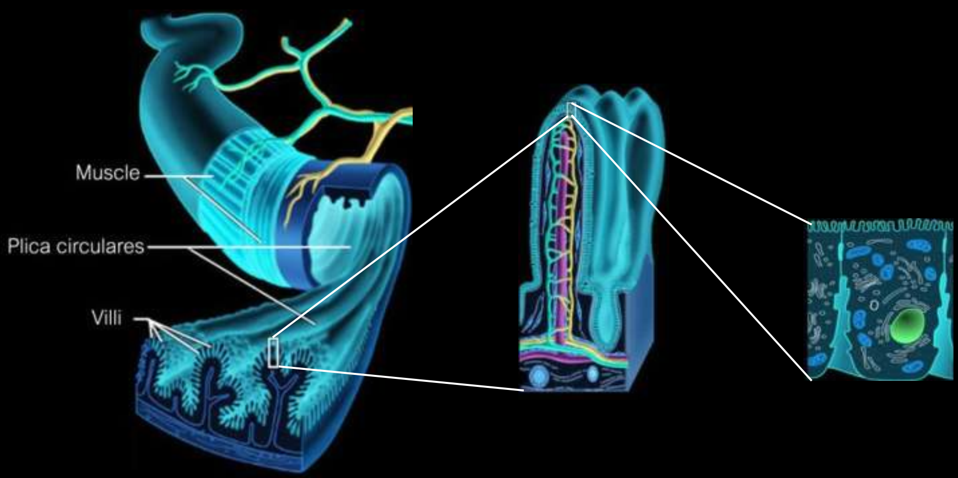
ลำไส้เล็กจึงมีลักษณะพิเศษที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึม ดังนี้

**1. ความยาว** ลำไส้เล็กมีความยาวที่สุด 21 ฟุต ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำนวนมาก

**2. Plica circulares** เป็นรอยพับจีบตามขวางภายในลำไส้เล็กมีความสูงประมาณ 1 ซม. พบมากในบริเวณลำไส้เล็กส่วน duodenum และ jejunum

**3. Villi** เป็นชั้นเยื่อเมือกที่ยื่นขึ้นไปเพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว

**4. Microvilli** เป็นส่วนของผนังเซลล์ที่ยื่นออกไปมีลักษณะคล้ายนิ้วมือเล็กๆ ทำหน้าที่ดูดซึมอาหาร

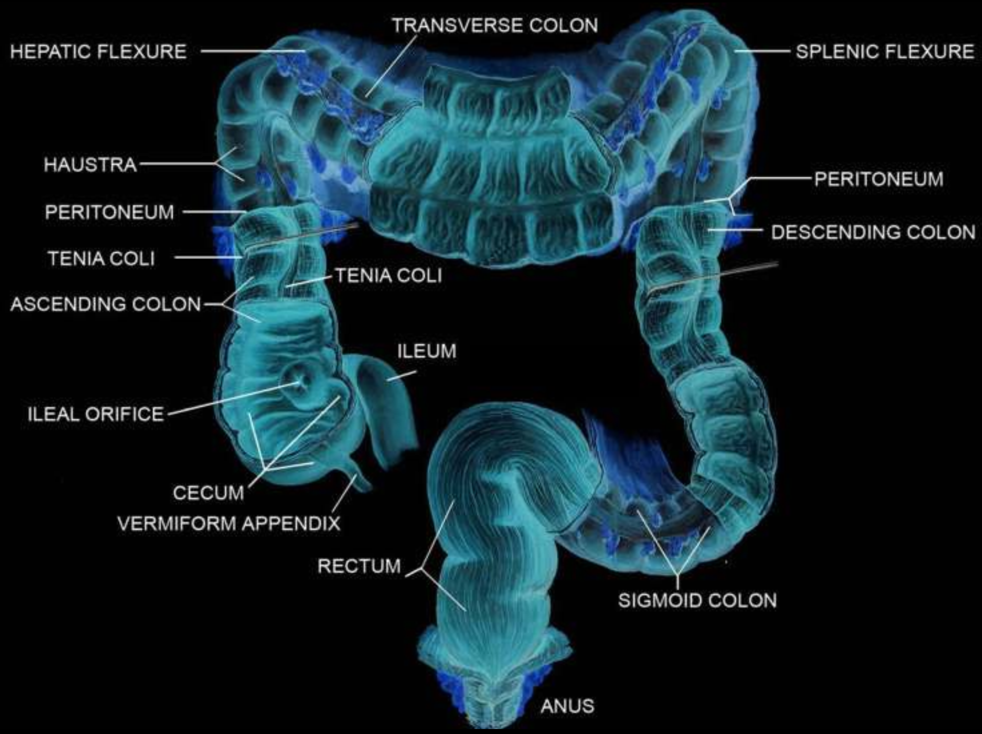



(A) Plica circulares (B) Villi (C) Microvilli

รูปที่ 9-26 แสดงลักษณะของ Plica circulares, Villi และ Microvilli

## 2.10 ลำไส้ใหญ่ (Large intestine)

ลำไส้ใหญ่มีความยาวประมาณ 1.5 เมตร (5 ฟุต) และมีเส้นผ่าศูนย์ภายในท่อประมาณ 2.5 นิ้ว เริ่มจากส่วนปลายของลำไส้เล็กส่วน ileum ไปจนถึงทวารหนัก (anus) ลำไส้ใหญ่ถูกยึดติดกับผนังช่องท้องทางด้านหลังโดยแผ่นเยื่อบุของช่องท้อง เรียกว่า mesocolon ลำไส้ใหญ่แบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 3 ส่วนคือ cecum, colon, rectum



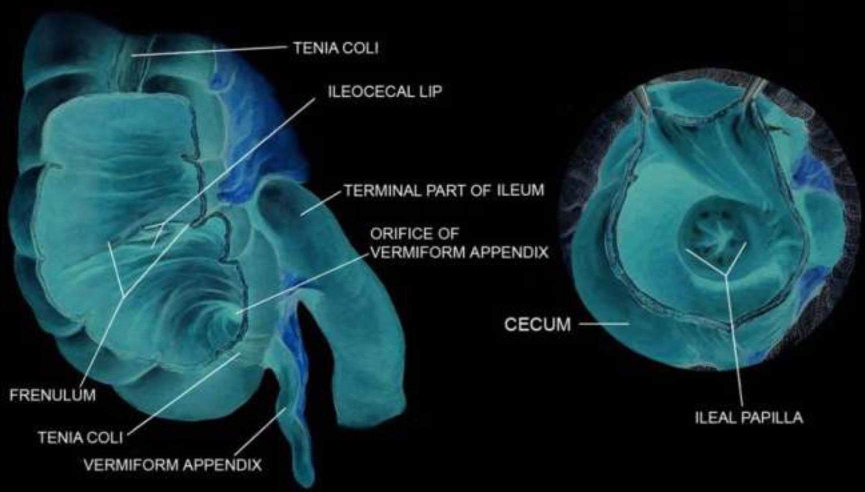

รูปที่ 9-27 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้ใหญ่

บริเวณรูเปิดจาก ileum เข้าสู่ลำไส้ใหญ่ จะมีรอยพับจีบของเนื้อเยื่อเมือก เรียกว่า ileocecal valve ทำหน้าที่เป็นลิ้นควบคุมการไหลของอาหารจากลำไส้เล็กไปสู่ลำไส้ใหญ่ ถัดจาก ileocecal valve ลงมาเป็นถุงตันยาวประมาณ 2.5 นิ้ว เรียกว่า cecum ปลายล่างของถุงตันนี้มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นท่อปลายตันยาวประมาณ 3 นิ้ว เรียกว่า **ไส้ติ่ง (vermiform appendix)** มีเยื่อแขวนลำไส้เรียกว่า meso appendix ยึดไส้ติ่งไว้กับส่วนล่างของ ileum และผนังด้านหลังของช่องท้องปลายด้านบนของ cecum ติดต่อกับลำไส้ใหญ่

Colon ซึ่งแบ่งเป็นส่วนย่อย 4 ส่วน คือ ascending colon, transverse colon, descending colon และ sigmoid colon

**ลำไส้ใหญ่ส่วนขึ้น (ascending colon)** เป็นอวัยวะที่อยู่หลังเยื่อบุช่องท้อง โดยวางตัวอยู่ด้านขวาของช่องท้องทอดขนานกับแนวกระดูกสันหลังเริ่มจากแอ่งด้านขวาของกระดูก ilium ขึ้นไปจนถึงตับแล้วจะหักมุม 90 องศาไปทางซ้าย จุดหักมุม เรียกว่า right colic flexure (hepatic flexure) จากนั้นจะทอดขวางช่องท้องไปทางซ้ายเรียกลำไส้ใหญ่ส่วนนี้ว่า **ลำไส้ใหญ่ส่วนขวาง (transverse colon)** เมื่อถึงใต้ม้ามจะหักมุม 90 องศา วางลงทางด้านล่างทำให้เกิด left colic flexure (splenic) flexure แล้วทอดตัวขนานกับแนวกระดูกสันหลังลงไปจนถึงแอ่งด้านซ้ายของกระดูก ilium เรียกว่า **ลำไส้ใหญ่ส่วนล่าง (descending colon)** ซึ่งเป็นอวัยวะที่อยู่หลังเยื่อบุช่องท้องเช่นเดียวกับ ascending colon เมื่อถึงสันของกระดูก ileum (iliac crest) ด้านซ้ายจะขดเป็นรูปอักษร S เข้าสู่แนวกลางตัว

เรียกว่า **ลำไส้ใหญ่ส่วนขด (sigmoid colon)** ซึ่งสิ้นสุดกลายเป็นลำไส้ใหญ่ส่วนไส้ตรง (rectum) ที่ระดับกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บอันที่ 3




รูปที่ 9-28 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของ ileocecal sphincter (ileocecal valve)

**จุลกายวิภาคของลำไส้ใหญ่**

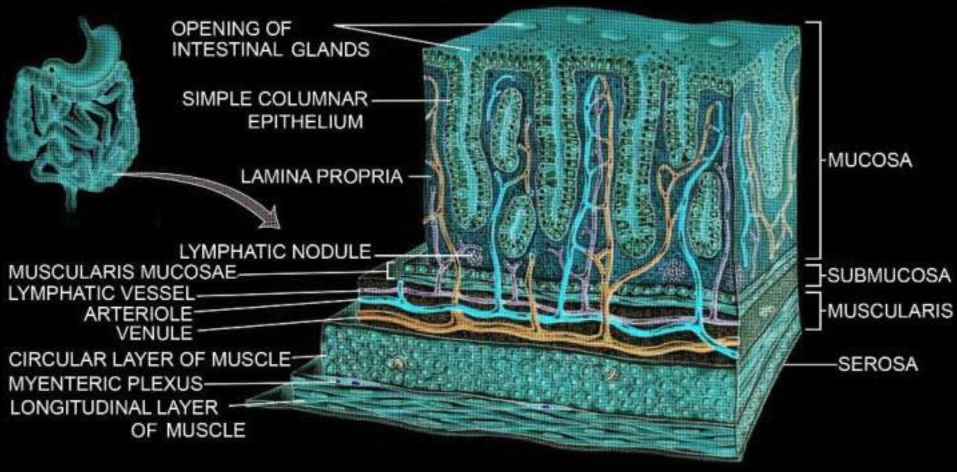
ผนังของลำไส้ใหญ่ประกอบด้วย 4 ชั้น คือ

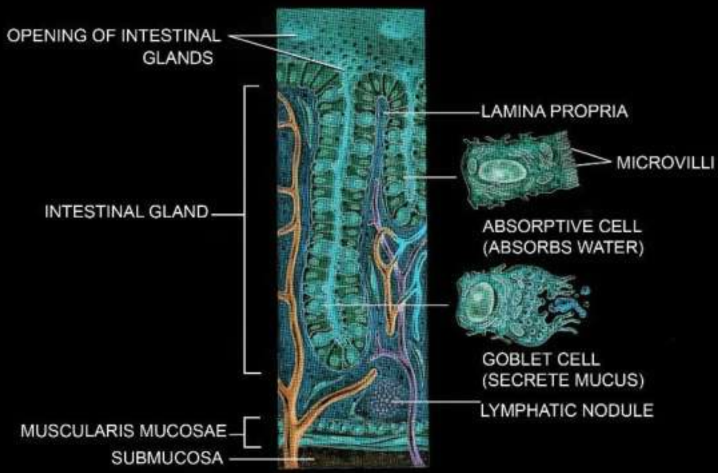
**1. Mucosa** ชั้นเยื่อเมือก มีความแตกต่างจากลำไส้เล็ก คือไม่มี villi และ plica circulars มี goblet cells ทำหน้าที่สร้างเมือกเพื่อช่วยหล่อลื่นกากอาหารในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านไปตามลำไส้ใหญ่

**2. Submucosa** เป็นชั้นของเนื้อยึดต่อ

**3. Muscularis** ชั้นกล้ามเนื้อของลำไส้ใหญ่มี 2 ชั้น คือ ชั้นในเรียงตัวเป็นวงรอบและชั้นนอกเรียงตัวเรียงตัวตามยาว แต่มีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากท่อทางเดินอาหารส่วนอื่นคือชั้นกล้ามเนื้อตามยาวมีการหนาตัวขึ้นเป็นแถบตามยาว 3 แถบ เรียกว่า taeniae coli แรงตึงตัวของแถบเหล่านี้ดึงให้ลำไส้ใหญ่มีลักษณะเป็นกระพุ้ง สลับกับรอบคอดเรียกว่า haustra (sacculations)

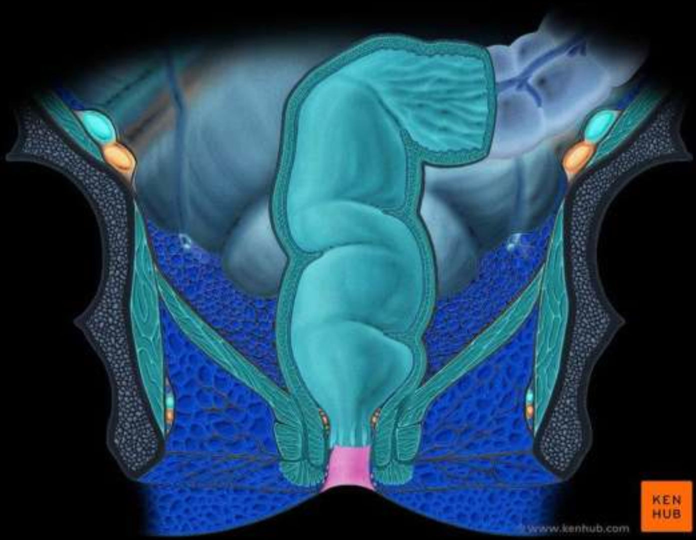
**4. Serosa** เยื่อบุช่องท้องที่หุ้มลำไส้ใหญ่บริเวณที่อยู่ตรงกับ taeniae coli จะมีถุงไขมันเล็กๆเกาะอยู่เรียกว่า epiploic appendages






รูปที่ 9-30 แสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของลำไส้ใหญ่

**ไส้ตรง (rectum)** เป็นส่วนปลาย 20 เซนติเมตร (8 นิ้ว) ของท่อทางเดินอาหาร วางตัวอยู่ทางด้านหน้าต่อกระดูก กระเบนเหน็บและกระดูกก้นกบ ส่วนปลายสุดของ rectum ซึ่งมีความยาวประมาณ 1 นิ้วจะตีบแคบลงเรียกว่า anal canal เยื่อเมือกของ anal canal จัดตัวเป็นรอยพับจีบตามยาวเรียกว่า anal columns บรรจุร่างแหหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ รูเปิดของ anal canal ออกสู่ภายนอกเรียกว่ารูทวารหนัก (anus) มีกล้ามเนื้อควบคุมการเปิดปิดเพื่อการขับถ่ายกากอาหาร 2 ชั้นคือ ชั้นในเป็นกล้ามเนื้อเรียบ เรียกว่า internal anal sphincter ควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ ชั้นนอกเป็นกล้ามเนื้อลายเรียกว่า external anal sphincter ควบคุมภายใต้อำนาจจิตใจ




รูปที่ 9-29 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของไส้ตรง (rectum)
ที่มา https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/the-anal-canal

**ความแตกต่างระหว่างลำไส้ใหญ่ และลำไส้เล็ก**

1. ลำไส้ใหญ่มีขนาดใหญ่กว่าลำไส้เล็ก
2. เยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่ไม่มี villi และไม่มีรอยพับจีบตามขวาง (plica circulares)

3. ชั้นกล้ามเนื้อตามยาวของลำไส้ใหญ่หนาตัวเป็นแถบ 3 แถบเรียกว่า taeniae coli ทำให้ลำไส้ใหญ่มีลักษณะเป็นกระพุ้งสลับกับรอบคอด (haustration, sacculation)

4. ชั้น serosa ของลำไส้ใหญ่มีไขมันมาสะสมเป็นติ่งไขมันเรียกว่า epiploic appendages

## 2.11 ตับ (Liver)

ตับเป็นต่อมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในร่างกาย ในผู้ใหญ่มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 1,500 กรัม วางตัวอยู่ในช่องท้องด้านบนขวาใต้ต่อกระบังลมกินเนื้อที่ใต้ชายโครงขวาทั้งหมดและยื่นเข้าไปบริเวณลิ้นปี่และใต้ชายโครงซ้ายบางส่วน รูปร่างของตับเป็นรูปลิ่ม ในภาวะสดมีสีน้ำตาลแดง ขอบล่างของตับจะแหลมไม่โค้งมนเหมือนขอบด้านอื่นๆ ทำให้สามารถแยกผิวด้านล่างออกจากผิวด้านอื่นได้อย่างชัดเจน ที่ผิวล่างของตับมีบริเวณที่เรียกว่า **ขั้วตับ (porta hepatis)** ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีโครงสร้างสำคัญผ่านเข้าและออกจากตับ ได้แก่ **Hepatic artery** (นำเลือดที่มีออกซิเจนสูงเข้าสู่ตับ) **Hepatic portal vein** (นำเลือดที่มีสารอาหารที่ถูกดูดซึมจากลำไส้เข้าสู่ตับ) **Bile duct** (เป็นท่อน้ำดีที่ตับสร้างส่งออกสู่ภายนอก) ตับเกือบทั้งหมดถูกคลุมด้วยเยื่อบุช่องท้อง ซึ่งทำหน้าที่ยึดตับไว้กับโครงสร้างที่อยู่ใกล้เคียง เยื่อบุช่องท้องแต่ละส่วนมีชื่อเรียกแตกต่างกัน ดังนี้

=> **Coronary ligament** ยึดผิวด้านบนของตับไว้กับกระบังลม

=> **Falciform ligament** ยึดผิวด้านหน้าของตับไว้กับกะบังลมและผนังหน้าท้อง บริเวณขอบล่างของ falciform ligament จะมีแท่งเอ็นกลมๆทอดตัวอยู่โดยยึดระหว่างตับกับสะดือ เรียกว่า round ligament of liver

=> **Lesser omentum** ยึดขั้วตับไว้กับกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนต้น

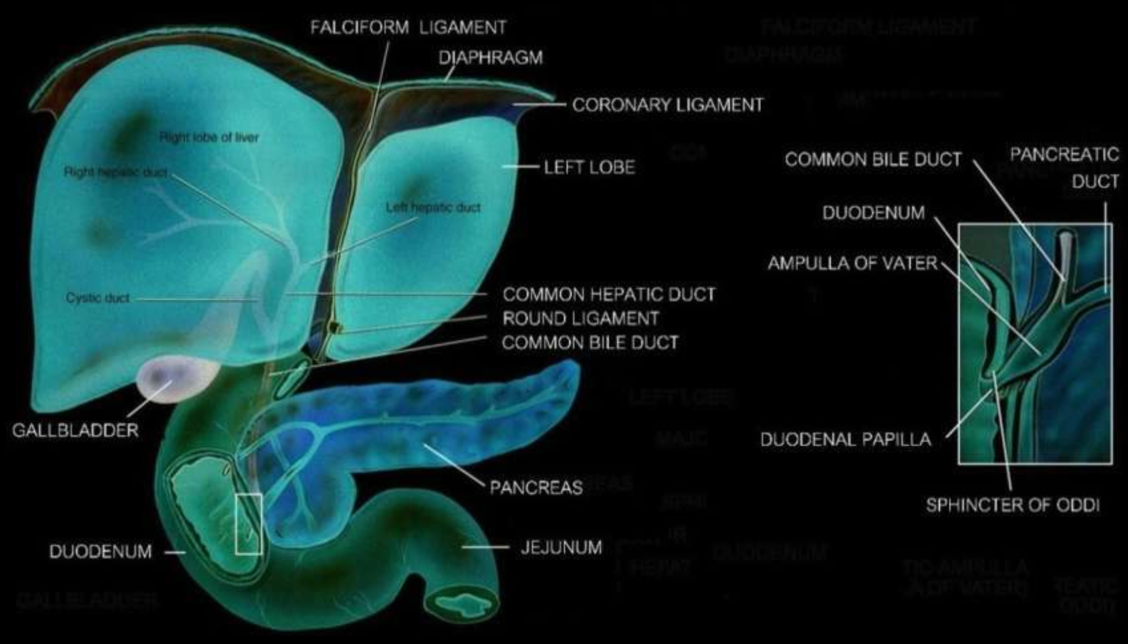
ตับแบ่งออกเป็น 4 กลีบ (lobe) ได้แก่

=> **Right lobe** อยู่ทางด้านขวาต่อ falciform ligament

=> **Left lobe** ทางด้านซ้ายของ falciform ligament

=> **Quadrate lobe** อยู่ทางด้านหน้าระหว่างแอ่งของถุงน้ำดีกับ round ligament of liver

=> **Caudate lobe** อยู่ทางด้านหลังของตับ



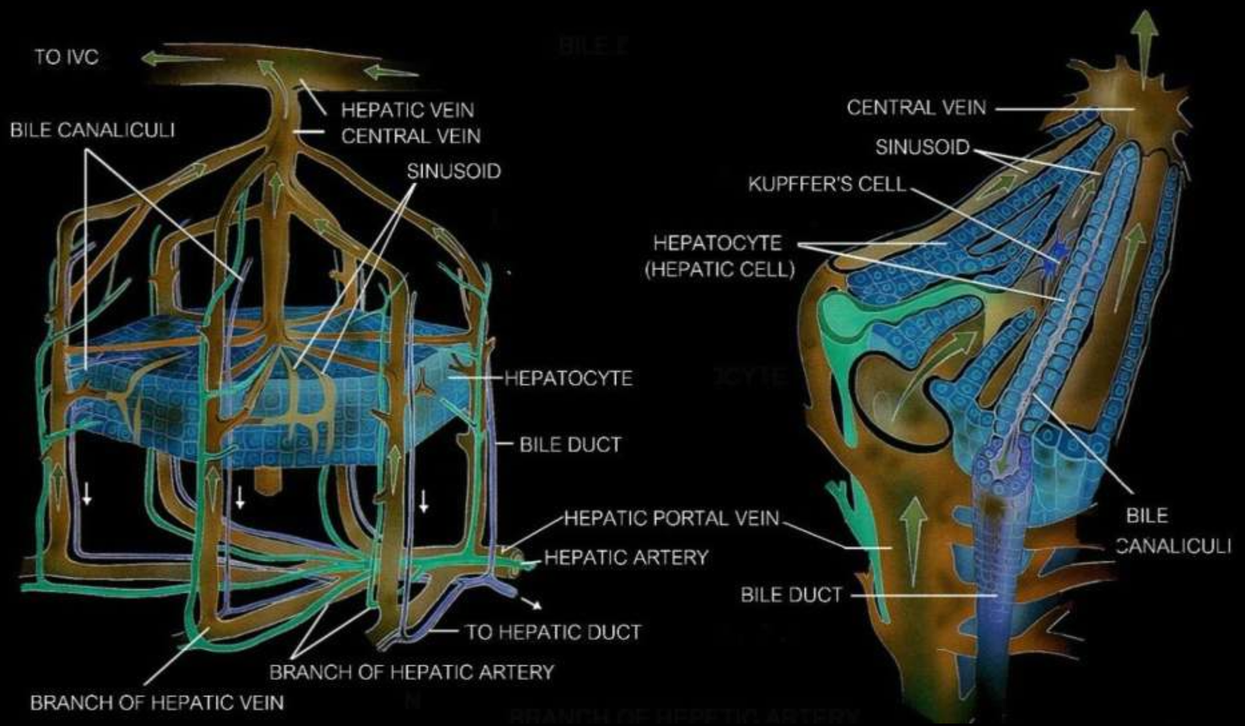

รูปที่ 9-31 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของตับ

**ลักษณะทางจุลกายวิภาคของตับ**

เนื้อตับประกอบขึ้นด้วยหน่วยโครงสร้างพื้นฐานเรียกว่า hepatic lobule มีขอบเขตเป็นรูปหกเหลี่ยม ประกอบด้วย central vein เป็นจุดศูนย์กลาง ตรงมุมของรูปทรงหลายเหลี่ยมมีโครงสร้างที่เรียกว่า **portal triad** ประกอบด้วยโครงสร้างสำคัญ 3 อย่างคือ hepatic portal vein, hepatic artery และ bile duct

เซลล์ตับ เรียกว่า hepatocytes มีรูปร่างเป็นรูปทรงกลมหลายเหลี่ยมเรียงตัวเป็นแผ่น มีความหนาของเซลล์ชั้นเดียวเรียกว่า hepatic cord แผ่เป็นรังสีออกไปรอบๆ central vein มีช่องว่างเรียกว่า sinusoid ทำให้เซลล์ตับสามารถได้รับสารอาหารและออกซิเจนจากเลือดได้ จากนั้นเลือดจะไหลเข้าสู่ central vein, hepatic vein ผ่าน inferior vena cava เพื่อกลับไปยังหัวใจ นอกจากนี้ภายใน sinusoid ยังมี Kupffer cells ซึ่งทำหน้าที่เก็บกินเซลล์เม็ดเลือดที่หมดอายุและแบคทีเรียที่ปนมากับเลือด

เซลล์ตับสร้างน้ำดีแล้วส่งผ่านออกมาทางท่อน้ำดีเล็กๆ (bile canaliculi) ที่แทรกอยู่ระหว่างเซลล์ตับ ท่อเหล่านี้รวมตัวกันเป็นท่อใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็น hepatic duct ขวาและซ้ายซึ่งจะรวมกันเป็น common hepatic duct นำน้ำดีออกจากตับ



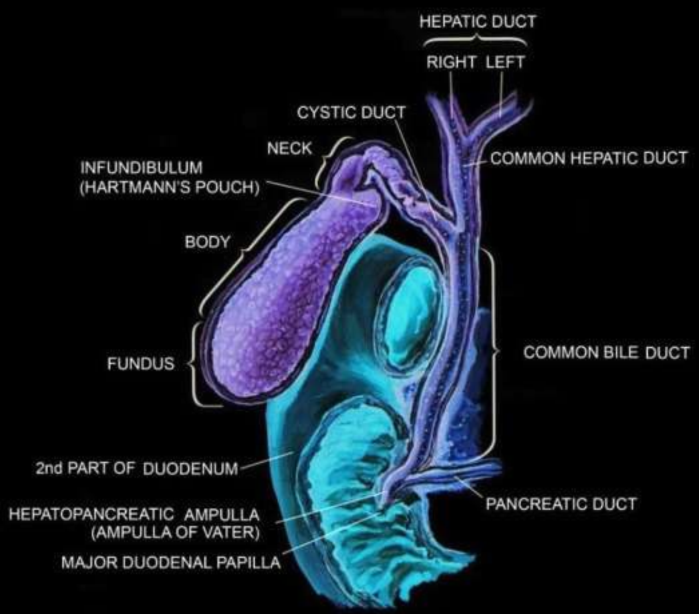

รูปที่ 9-32 แสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของตับ

**หน้าที่ของตับ**

1. ควบคุม metabolism ของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน
2. กำจัดและทำลายพิษของยาและฮอร์โมนบางชนิด เช่น penicillin, estrogen เป็นต้น
3. สร้างน้ำดีและเกลือน้ำดีขับออกสู่ลำไส้เล็กสำหรับการย่อยและการดูดซึมสารอาหารพวกไขมัน
4. เก็บสะสมอาหาร เช่น glucose ไว้ในรูปของ glycogen นอกจากนี้ยังสะสมวิตามิน A, B12, C, D, E และ K รวมทั้งแร่ธาตุพวกเหล็กและทองแดงด้วย
5. กำจัดเซลล์เม็ดเลือดที่หมดอายุและแบคทีเรียที่อยู่ในเลือด

## 2.12 ถุงน้ำดี (Gallbladder)

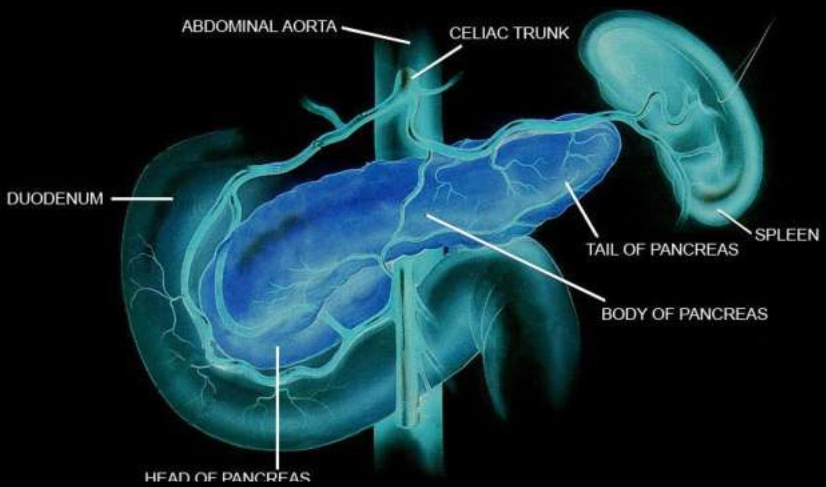
ถุงน้ำดีเป็นอวัยวะที่มีรูปร่างเหมือนลูกแพร์ มีความยาวประมาณ 7-10 เซนติเมตร วางอยู่ในแอ่งที่ผิวด้านล่างของตับทางด้านหน้า ระบบทางเดินน้ำดีประกอบด้วย common hepatic duct เป็นท่อนำน้ำดีออกจากตับ และ cystic duct ซึ่งเป็นทางผ่านของน้ำดีเข้า และออกจากถุงน้ำดี ถุงน้ำดีจะทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำดีไว้ชั่วคราวเพื่อปล่อยลงสู่ลำไส้เล็กเมื่อมีการย่อยอาหารโดยผ่านทาง common bile duct




รูปที่ 9-33 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของถุงน้ำดีและท่อทางเดินน้ำดี

## 2.13 ตับอ่อน (Pancreas)

ตับอ่อน เป็นอวัยวะที่วางตัวอยู่หลังช่องท้อง (retroperitoneum organ) หลังส่วนโค้งใหญ่ของกระเพาะอาหาร ยาวประมาณ 12-15 ซม. หนาประมาณ 2.5 ซม.  แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัว (head) ส่วนลำตัว (body) และส่วนหาง (tail) ส่วนหัวเป็นส่วนกว้างมากที่สุด วางตัวอยู่ในส่วนโค้งรูปตัว C ของลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม ถัดไปทางซ้ายเป็นส่วนลำตัว ทอดตัวเฉียงขึ้นไปทางซ้ายมือ และแคบลงเป็นส่วนหาง ไปสิ้นสุดที่ขั้วของม้าม




รูปที่ 9-34 แสดงกายวิภาคของตับอ่อน

**จุลกายวิภาคของตับอ่อน**

ตับอ่อนเป็นอวัยวะที่มีทั้งต่อมไร้ท่อและมีท่อ ส่วนที่เป็นต่อมไร้ท่อ (endocrine function) พบประมาณ 1% ของเนื้อต่อม ประกอบด้วยกลุ่มเนื้อเยื่อเรียกว่า **pancreatic islets (islets of Langerhans)** โดยมีเซลล์ 4 ชนิด ทำหน้าที่หลั่งฮอร์โมน ดังนี้

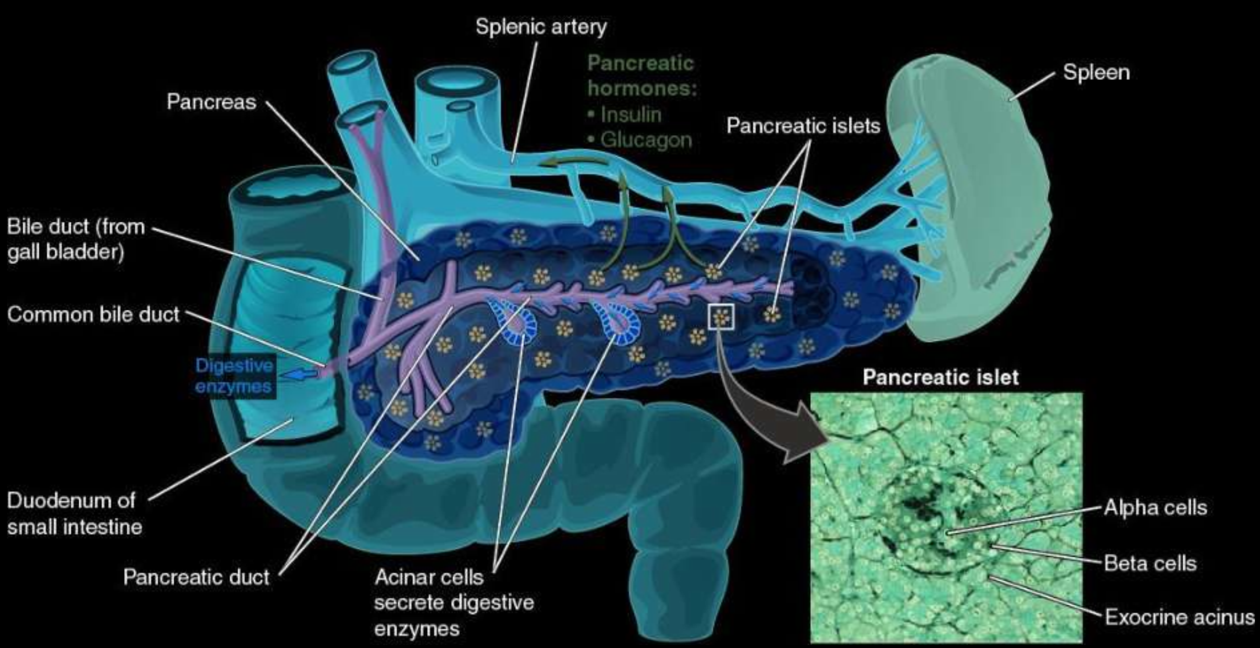
**1) Alpha cells** หลั่ง glucagon

**2) Beta cells** หลั่ง insulin

**3) Delta cells** หลั่ง somatostatin

**4) F cells** หลั่ง pancreatic polypeptide

เนื้อตับอ่อนส่วนที่เหลืออีก 99 % เป็นทำหน้าที่เป็นต่อมมีท่อ (exocrine function) ประกอบกลุ่มเซลล์เรียกว่า acini ทำหน้าที่สร้าง pancreatic juice (น้ำย่อยตับอ่อน) ประมาณ 1,200-1,500 มล./วัน น้ำย่อยประกอบด้วยน้ำ และไบคาร์บอเนตจำนวนมาก (pH ≈ 7.1-8.2) และน้ำย่อยอีกหลายชนิด ได้แก่ pancreatic amylase ย่อยคาร์โบไฮเดรท, trypsin, chymotripsin และ carboxypeptidase ย่อยโปรตีน, pancreatic lipase ย่อยไขมัน และ ribonuclease, deoxyribonuclease ย่อยกรดนิวคลีอิก

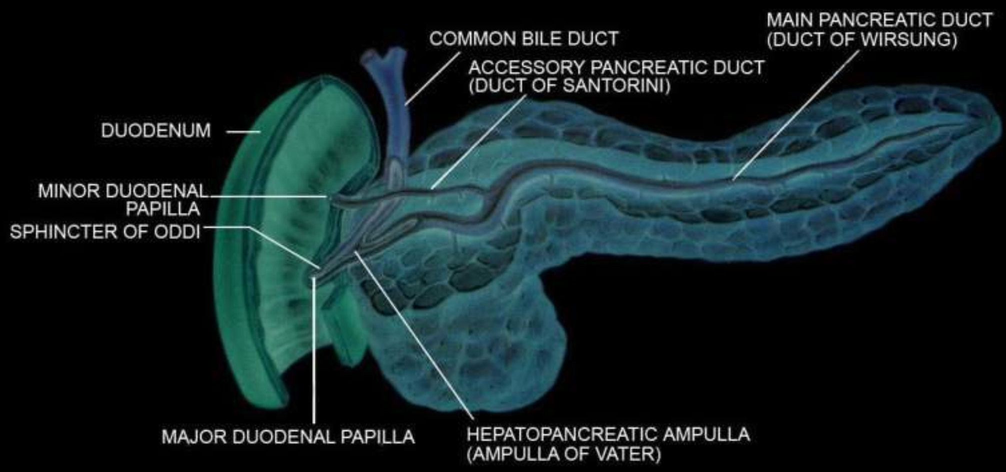



รูปที่ 9-35 แสดงจุลกายวิภาคของตับอ่อน

น้ำย่อยตับอ่อน จะหลั่งเข้าสู่ท่อเล็กๆ จากนั้นท่อรวมกันมีขนาดใหญ่ขึ้น กลายเป็นท่อน้ำย่อยตับอ่อนขนาดใหญ่ 2 ท่อ หลั่งน้ำย่อยเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนต้น ได้แก่

**1. Main pancreatic duct (Duct of Wirsung)** เป็นท่อหลักมีขนาดใหญ่ ท่อจะไปรวมกับท่อน้ำดีร่วม (common bile duct) กลายเป็นกระเปาะสั้นๆ เรียกว่า hepatopancreatic ampulla (ampulla of Vater) เปิดเข้าสู่ ดูโอดินัมตรงตุ่มนูน major duodenal papilla โดยมีหูรูด **sphincter of Oddi** ทำหน้าที่เป็นลิ้นปิด - เปิดการไหลของน้ำดีและน้ำย่อยตับอ่อนเข้าสู่ลำไส้เล็ก

**2. Accessory pancreatic duct (Duct of Santorini)** ท่อมีขนาดเล็กกว่า เปิดเข้าสู่ดูโอดินัมตรงตุ่มนูน minor duodenal papilla ซึ่งอยู่เหนือ major duodenal papilla ประมาณ 2.5 ซม.




รูปที่ 9-36  แสดงกายวิภาคของท่อน้ำย่อยตับอ่อน

## ตอนที่ 3
## สรีรวิทยาระบบย่อยอาหาร

หน้าที่หลักของระบบทางเดินอาหารประกอบด้วย 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ

**1. การเคลื่อนไหว (motility)** เป็นการคลุกเคล้าอาหารและผลักไล่อาหารจากปากลงไปยังส่วนล่างของทางเดินอาหาร มีอัตราการเคลื่อนที่ในส่วนต่างๆ แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหน้าที่ของอวัยวะนั้นๆ

**2. การหลั่ง (secretion)** เป็นการหลั่งน้ำ อิเล็กโตรลัยท์ น้ำย่อย จากต่อมมีท่อในทางเดินอาหาร ดังนี้

| | |
|---|---|
| => น้ำลาย (saliva) | 1,500 มล./วัน |
| => น้ำย่อยกระเพาะอาหาร (gastric juice) | 2,500 มล./วัน |
| => น้ำย่อยตับอ่อน (pancreatic juice) | 1,500 มล./วัน |
| => น้ำดี (bile) | 500 มล./วัน |
| => น้ำย่อยลำไส้ (succus entericus) | 1,500 มล./วัน |
| => สารคัดหลั่งลำไส้ใหญ่ (colonic secretion) | 50-100 มล./วัน |

**3. การย่อย (digestion)** เป็นการย่อยอาหารที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก การย่อยมี 2 ชนิดคือ การย่อยเชิงกล (mechanical digestion) เช่น การกัด การเคี้ยว การบีบตัวของกระเพาะอาหารลำไส้ อีกชนิดเป็นการย่อยเชิงเคมี (chemical digestion) โดยน้ำย่อยชนิดต่างๆ ในทางเดินอาหาร เพื่อให้สามารถดูดซึมได้

**4. การดูดซึม (absorption)** เป็นการดูดซึมสารอาหารต่างๆ ในโพรงของทางเดินอาหาร เข้าสู่เซลล์ที่ทำหน้าที่ในการดูดซึม

### 3.1 การเคลื่อนไหวของระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal motility)

การเคลื่อนไหวของระบบทางเดินอาหารถูกควบคุมและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบที่ผนังทางเดินอาหาร ได้แก่

1) คุณสมบัติเฉพาะของกล้ามเนื้อทางเดินอาหาร

2) ระบบประสาท ได้แก่ ระบบประสาท ANS และ ENS

3) ฮอร์โมนในกระแสเลือดและสารเคมี ฮอร์โมนของทางเดินอาหาร

#### 3.1.1 ปาก (Mouth)

ปากเป็นทางรับอาหารเข้าสู่ร่างกาย และเกี่ยวข้องกับการรับรส การพูด การเปล่งเสียง ในบางสภาวะอาจมีหน้าที่ช่วยในการหายใจ ในระบบของทางเดินอาหาร ปากมีหน้าที่

1) การเคลื่อนไหว ได้แก่ การเคี้ยว การกลืน

2) หลั่งน้ำลาย จากต่อมน้ำลาย 3 คู่ และจากเยื่อบุในช่องปาก

3) การย่อย ทั้งแบบเชิงกลและเคมี โดยอาศัยน้ำย่อยในน้ำลาย

4) การดูดซึม เช่น การให้ยาอมใต้ลิ้น (sublingual medication) ซึ่งมีข้อดีที่ออกฤทธิ์ได้เร็วและไม่ผ่าน portal vein จึงไม่ถูกทำลายที่ตับ

**การเคี้ยวอาหาร (Mastication, chewing)** เป็นการทำงานร่วมกัน โดยกล้ามเนื้อลายของขากรรไกร ปาก แก้ม และลิ้น กล้ามเนื้อสำหรับการเคี้ยวที่สำคัญ คือ masseter หน้าที่สำคัญของการเคี้ยวอาหาร ได้แก่

1) ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง เป็นการเพิ่มพื้นที่ให้แก่น้ำย่อยในระบบทางเดินอาหาร และยังทำให้กลืนได้สะดวก

2) ทำให้อาหารได้สัมผัสกับตัวรับรู้รสอาหาร (taste receptor)

3) ทำให้มีการย่อยอาหารจำพวกแป้ง โดยเอ็นไซม์ salivary amylase นอกจากนี้น้ำลายยังทำให้ก้อนอาหารอ่อนนุ่ม กลืนได้สะดวก

**การกลืนอาหาร (Swallowing, deglutition)** การเริ่มต้นของการกลืนอาหาร อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ หลังจากนั้นแล้วเป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ (reflex control) การกลืนอาหารมี 3 ระยะ คือ

**1) การกลืนอาหารในปาก (Oral phase)** ระยะเริ่มต้นของการกลืน อยู่ในอำนาจจิตใจ เมื่ออาหารพร้อมที่จะกลืน จะถูกม้วนเข้าไปในคอหอย โดยอาศัยแรงดันจากลิ้น ขณะเดียวกันก้อนอาหารจะไปกระตุ้นตัวรับความรู้สึกสัมผัสเป็นการเริ่มต้นปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติของการกลืน

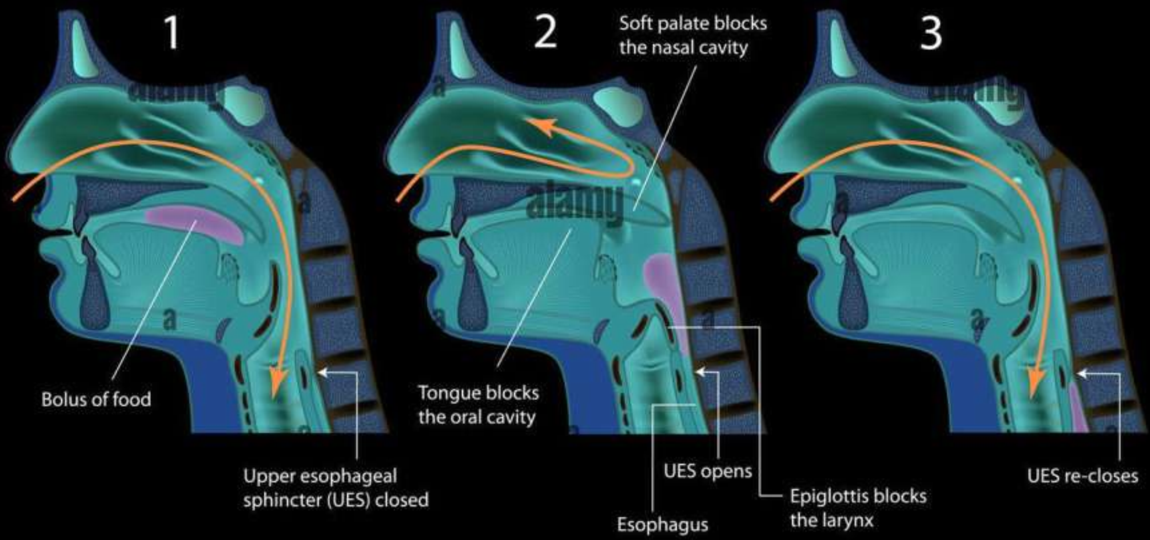
**2) การกลืนอาหารบริเวณคอหอย (Pharyngeal phase)** เป็นระยะที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ เรียง ลำดับขั้นตอน ดังนี้

=> เพดานอ่อนจะถูกดึงขึ้นไปปิดทางติดต่อกับโพรงจมูก เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารเข้าไปในโพรงจมูก และเปิดทางให้อาหารเคลื่อนลงสู่คอหอย

=> สายเสียงจะถูกดึงเข้าหากัน กล่องเสียงจะเคลื่อนไปข้างหน้าและถูกยกขึ้นไปชนฝาปิดกล่องเสียง เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารตกลงไปในหลอดลม และช่วยให้กล้ามเนื้อหูรูดส่วนบนของหลอดอาหารคลายตัว

=> ขณะที่กล้ามเนื้อหูรูดบริเวณหลอดอาหารส่วนบนคลายตัว กล้ามเนื้อคอหอยส่วนบนจะบีบตัวดันอาหารลงคอหอยอย่างงรวดเร็ว

**3) การกลืนอาหารบริเวณหลอดอาหาร (Esophageal phase)** การกลืนในระยะนี้ถูกควบคุมการกลืนโดยศูนย์ควบคุมการกลืน เมื่ออาหารผ่านเข้ามาในหลอดอาหาร จะมีการการบีบตัวแบบ peristalsis

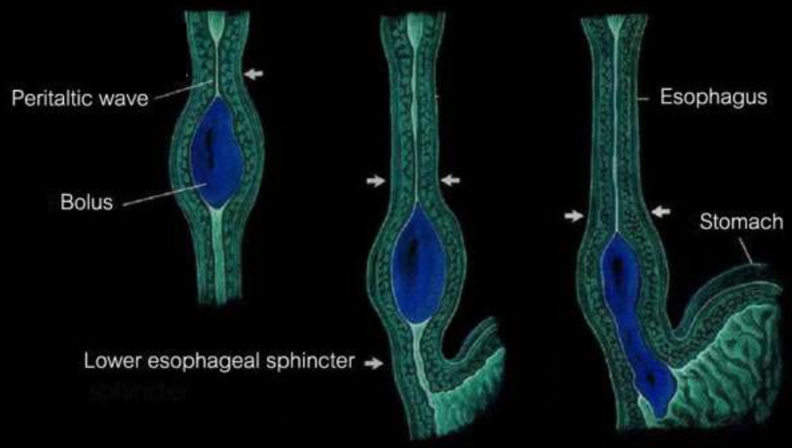



รูปที่ 9-37 แสดงขั้นตอนการกลืนอาหาร

### 3.1.2 หลอดอาหาร (Esophagus)

มีความยาวประมาณ 20-25 ซม. หลอดอาหารส่วนบน 1 ใน 3 ผนังเป็นกล้ามเนื้อลายอยู่ภายใต้การควบคุมของจิตใจ ที่เหลือผนังเป็นกล้ามเนื้อเรียบ หน้าที่หลักของหลอดอาหารคือ เป็นทางผ่านให้อาหารผ่านจากปากลงสู่กระเพาะอาหาร และป้องกันไม่ให้อาหารในกระเพาะอาหารไหลย้อนกลับ เมื่ออาหารถูกกลืนเข้ามาในหลอดอาหาร หลอดอาหารจะทำหน้าที่เคลื่อนอาหารจากคอหอยลงสู่กระเพาะอาหาร โดยมีกล้ามเนื้อหูรูดบริเวณหลอดอาหาร

ส่วนบน (Upper esophageal sphincter, UES) จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อาหารเข้ามาในหลอดอาหาร และกล้ามเนื้อหูรูดบริเวณหลอดอาหารส่วนล่าง (Lower esophageal sphincter, LES) จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อาหารย้อนกลับเข้ามาในหลอดอาหาร




รูปที่ 9-38 แสดงการบีบตัวของหลอดอาหาร

เมื่ออาหารผ่านหูรูด UES ลงมาจะเริ่มต้นมีการบีบตัวแบบ primary peristalsis เกิดขึ้นโดยมีการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อวงกลมและตามยาวอย่างสัมพันธ์และต่อเนื่องกัน ทำให้อาหารเคลื่อนผ่านหลอดอาหารลงมาถึงบริเวณกล้ามเนื้อหูรูด LES มีผลให้กล้ามเนื้อหูรูด LES คลายตัวให้อาหารผ่านเข้าสู่กระเพาะอาหารได้ หลังจากนั้นกล้ามเนื้อหูรูด LES จะบีบตัวป้องกันอาหารไหลกลับเข้าสู่หลอดอาหาร ปกติการบีบรูดในหลอดอาหารมีความเร็วประมาณ 2-6 ซม.ต่อวินาที หรือใช้เวลาประมาณ 10 วินาทีในการกลืนอาหาร

อย่างไรก็ดีการบีบรูดแบบ primary peristalsis ไม่สามารถบีบรูดอาหารได้ทั้งหมด อาหารที่หลงเหลืออยู่ในหลอดอาหารทำให้เกิดการบีบรูดแบบ secondary peristalsis อีกหลายครั้งเพื่อไล่อาหารที่เหลือลงสู่กระเพาะอาหาร

### 3.1.3 กระเพาะอาหาร (Stomach)

กระเพาะอาหาร มีหน้าที่เน้นไปทางด้านการเคลื่อนไหวและการหลั่ง มากกว่าที่จะเป็นการย่อยและดูดซึม หน้าที่สำคัญประกอบด้วย

1) เป็นที่เก็บและรองรับอาหาร ก่อนที่จะส่งเข้าไปในลำไส้เล็ก โดยเฉพาะส่วน fundus และ body จะทำหน้าที่รับอาหารได้ประมาณ 1.5 ลิตร โดยที่ความดันในกระเพาะอาหารเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เรียกว่า **receptive relaxation**

2) คลุกเคล้าอาหารกับน้ำย่อยจนอาหารมีลักษณะกึ่งของเหลว (chyme)

3) ค่อยๆ ปล่อยอาหารเข้าสู่ลำไส้เล็ก ด้วยอัตราที่พอเหมาะในการย่อยและการดูดซึม

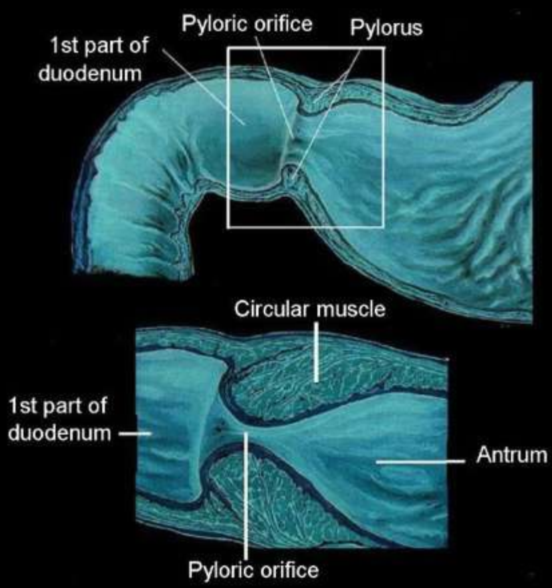
กระเพาะอาหารส่วน fundus และ body จะทำหน้าที่ในการเก็บอาหาร การบีบตัวในส่วนนี้จะมีความรุนแรงไม่มาก แต่ในส่วน antrum จะมีการบีบตัวค่อนข้างรุนแรง ทำให้มีการคลุกเคล้าอาหารกับน้ำย่อย และช่วยบีบไล่อาหารลงสู่ลำไส้เล็ก อาหารที่คลุกเคล้ากับน้ำย่อยในกระเพาะอาหารแล้วมีลักษณะครึ่งแข็งครึ่งเหลวและมีความเป็นกรด เรียกว่า **acid chyme**

**การเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหาร** เป็นการบีบตัวแบบ peristalsis เพื่อคลุกเคล้าอาหารกับน้ำย่อย ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง การบีบตัวแบบนี้ เกิดจากกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า gastric pacemaker ที่กระเพาะอาหารส่วนล่าง

เกิดดีโพลาไรเซชั่น และรีโพลาไรเซชั่น สลับกันไปทุก 20 วินาที และเนื่องจากวงจรโพลาไรเซชั่น และรีโพลาไรเซชั่นนี้เกิดขึ้นแบบต่อเนื่อง จึงเรียกว่า ความต่างศักดิ์แบบจังหวะ basic electrical rhythm (BER)

**กล้ามเนื้อหูรูดไพลอรัส** (Pyloric sphincter) แยกกระเพาะอาหารส่วนแอนทรัมออกจากลำไส้เล็กส่วนต้น มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการเคลื่อนที่ของอาหารจากกระเพาะอาหารเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนต้นด้วยอัตราที่พอเหมาะเพื่อที่จะทำให้ลำไส้เล็กทำการย่อยและดูดซึมอาหารได้อย่างสมบูรณ์และยังช่วยป้องกันอาหารไหลย้อนกลับ เส้นประสาทที่มาควบคุมจะเป็นเส้นประสาทเวกัสและเส้นประสาทซิมพาเธติก

เส้นประสาทซิมพาเธติกจะไปเพิ่มการบีบตัวของกล้ามเนื้อหูรูดไพลอรัส ส่วนเส้นประสาทเวกัสจะมีทั้งที่ไปกระตุ้นและยับยั้งกล้ามเนื้อเรียบของหูรูดไพลอรัส




รูปที่ 9-39 แสดงลักษณะของหูรูดพัยลอรัส

**การควบคุมการเคลื่อนอาหารจากกระเพาะอาหารลงสู่ลำไส้เล็ก** ถูกควบคุมโดยระบบประสาทและฮอร์โมน ดังนี้

1. การมีกรดเข้ามาในลำไส้เล็กส่วนต้น จะทำให้การบีบตัวของกระเพาะอาหารลดลง และไปเพิ่มการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กส่วนต้น โดยจะมีการหลั่งฮอร์โมน secretin ซึ่งมีผลไปยับยั้งการบีบตัวของแอนทรัม และกระตุ้นการหดตัวของหูรูดไพลอรัส

2. การมีผลิตผลของไขมันที่ย่อยแล้ว เข้ามาในลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง จะไปกระตุ้นการหลั่ง CCK มีผลไปลดอัตราการเคลื่อนที่ของอาหารออกจากกระเพาะอาหาร

3. อาหารที่มีความเข้มข้นสูง (hyperosmotic) ไปกระตุ้น osmoreceptor ของเซลล์ไร้ท่อในบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง ทำให้ไปลดการเคลื่อนที่ของอาหารออกจากกระเพาะอาหาร

4. เปปไทด์และกรดอมิโนในอาหาร ไปกระตุ้นตัวรับรู้ทางเคมีของ G cell ในกระเพาะอาหารส่วนแอนทรัมและลำไส้เล็กส่วนต้น ให้หลั่งแกสตรินซึ่งมีผลไปลดอัตราการเคลื่อนของอาหารจากกระเพาะอาหาร

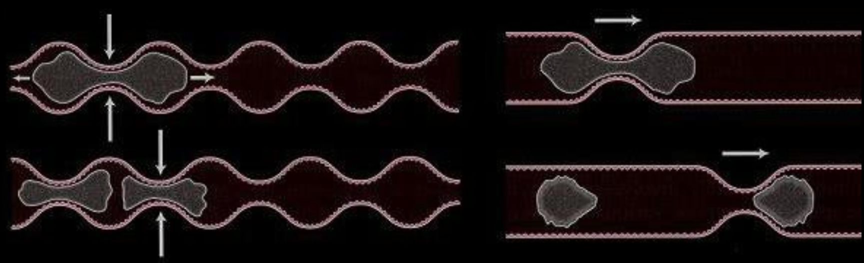
### 3.1.4 ลำไส้เล็ก

การเคลื่อนไหวของลำไส้เล็ก แบ่งออกเป็น 2 แบบ

**1. การบีบตัวแบบเป็นปล้อง (Segmentation)** เป็นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบวงกลมและมีการคลายตัวพร้อมกับบีบที่จุดใหม่ที่อยู่ระหว่างการบีบตัวครั้งที่แล้ว ทำให้อาหารคลุกเคล้าไปมาอยู่กับที่ ลำไส้เล็กส่วนต้นบีบตัวได้ประมาณ 11-12 ครั้งต่อนาที ในขณะที่ลำไส้เล็กส่วนปลายประมาณ 8-9 ครั้งต่อนาที

**2. การบีบตัวแบบบีบเคลื่อน (peristalsis)** การบีบตัวแบบนี้เกิดจาก pack maker ในกล้ามเนื้อเรียบที่เรียงตัวแบบวงกลม การบีบตัวลักษณะนี้เพื่อทำให้อาหารได้คลุกเคล้ากับน้ำย่อยและสัมผัสกับพื้นที่ผิวของชั้นเยื่อเมือกได้มากขึ้น ความแรงในการบีบตัวถูกควบคุมโดยฮอร์โมน ประสาทภายใน และประสาทอัตโนมัติ การบีบตัวแบบเป็นปล้อง (Peristalsis) เป็นการผลักไล่อาหาร ด้วยความเร็ว 0.5 – 2 ซม. ต่อนาที

ฮอร์โมนที่ควบคุมการบีบตัวแบบคลื่นในลำไส้เล็ก ได้แก่ gastrin, CCK, insulin, serotonin ไปเพิ่มการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็ก ในทางตรงข้าม secretin และ glucagon จะยับยั้งการเคลื่อนไหว



ภาพที่ 9-40 แสดงการเคลื่อนไหวของลำไส้แบบ segmentation และ peristalsis

**กล้ามเนื้อหูรูดอิลิโอซีคัล (ileocecal sphincter)** มีหน้าที่หลักคือ ป้องกันไม่ให้กากอาหารหรืออาหารที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้ใหญ่ย้อนกลับเข้าไปในลำไส้เล็กส่วนปลาย โดยมีลิ้น ileocecal valve (IC valve) กั้นอยู่ IC valve นี้เป็น one-way valve ยอมให้กากอาหารผ่านเข้าสู่ cecum ได้ แต่ย้อนทางกลับได้ยาก การทำงานของอิเลียมจะสัมพันธ์กับกระเพาะอาหาร กล่าวคือ เมื่อมีอาหารเข้าสู่กระเพาะอาหารจะเกิดปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติ **gastroileal reflex** หรือ gastroenteric reflex กระตุ้นการบีบตัวของอิเลียม พร้อมกับมีการคลายตัวของหูรูดนี้ ลิ้น IC valve จะเปิดออก ยอมให้กากครึ่งแข็งครึ่งเหลวประมาณ 500-1,000 มล. ส่งต่อไปยังลำไส้ใหญ่

เมื่อมีกากอาหารลงมาจะทำให้ cecum ยืดขยายออก เมื่อถึงระดับหนึ่งก็จะส่งสัญญาณไปยับยั้งการบีบรูดของลำไส้เล็กส่วนปลาย และไปกระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อหูรูดอิลีโอซีคัล เพื่อไม่ให้กากอาหารลงมากเกินไป ปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติจาก cecum ไปควบคุมการบีบตัวของลำไส้เล็กส่วนปลายนี้ เรียกว่า **colonoileal reflex** ในทำนองเดียวกันก็มีปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติที่เรียกว่า **ileogastric reflex** กล่าวคือ เมื่อมีอาหารตกลงมาในบริเวณลำไส้เล็กส่วนปลายก็จะมีการยืดและส่งสัญญาณไปยับยั้งการบีบตัวของกระเพาะอาหารได้

### 3.1.5 การเคลื่อนไหวลำไส้ใหญ่

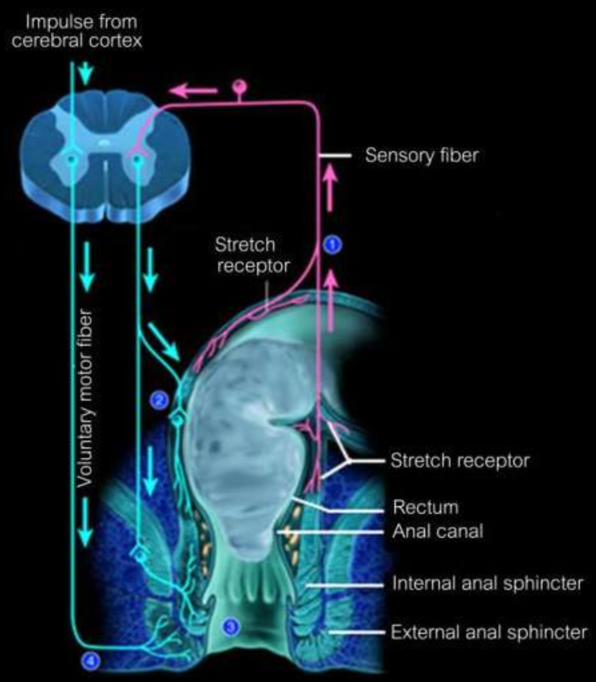
แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

**1. การบีบตัวแบบเป็นปล้อง (haustration)** เป็นการบีบตัวแบบเป็นปล้องเช่นเดียวกับลำไส้เล็ก แต่มีขนาดใหญ่กว่า และมีความถี่ต่ำกว่า ช่วยในการดูดซึมน้ำและเกลือแร่ที่ลำไส้ใหญ่ โดยทำให้อาหารที่เข้ามาสัมผัสกับพื้นที่ผิวของลำไส้ได้มากขึ้น เป็นการบีบตัวร่วมกันของกล้ามเนื้อเรียบที่เรียงตัวแบบวงกลม และที่เรียงตัวตามยาว

**2. การบีบตัวแบบบีบเคลื่อนอย่างแรง (mass movement)** เป็นการผลักไล่กากอาหารไปยังลำไส้ตรง การเคลื่อนไหวแบบนี้เกิดในลำไส้ใหญ่ส่วนขวางและส่วนคด ประมาณ 2-3 ครั้ง/วัน เกิดมากที่สุดใน 1 ชม.หลังรับประทานอาหารเช้า การบีบตัวแบบบีบเคลื่อนอย่างแรง มักเกิดจาก gastrocolic reflex และ duodenocolic reflex ซึ่งเป็นผลจากการยืดขยายของกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนต้น

**การขับถ่ายอุจจาระ** โดยปกติลำไส้ส่วน rectum มักจะว่างไม่มีอุจจาระ เนื่องจากรอยเชื่อมต่อระหว่าง sigmoid และ rectum มีลักษณะเป็นมุมฉากจึงมีแรงต้านเกิดขึ้น เมื่อมีอุจจาระตกลงมาในลำไส้ตรงมากกว่า 25% ของความจุลำไส้ตรง จึงจะทำให้มีกระบวนการถ่ายอุจจาระเกิดขึ้น การขับถ่ายเป็นปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติ พบได้ 2 ชนิด คือ

**1) Intrinsic defecation reflex** เมื่อมีอุจจาระเข้ามาใน rectum จะทำให้ rectum ยืดขยายเป็นการส่งสัญญาณไปทั่วร่างแหประสาท myenteric ทำให้เกิดการบีบตัวแบบบีบเคลื่อนในลำไส้ใหญ่ส่วนล่าง ส่วนคดและไส้ตรง ผลักกากอาหารไปทางช่องทวารหนัก แล้วหูรูดทวารหนักด้านในจะคลายตัว และถ้ากล้ามเนื้อหูรูดทวารหนักส่วนนอก ถูกบังคับให้คลายตัวก็จะเกิดการถ่ายอุจจาระขึ้น แต่เนื่องจาก Intrinsic defecation reflex มีความ แรงน้อยทำให้การขับถ่ายอุจจาระเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์




รูปที่ 9-41 แสดงปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติ การขับถ่ายอุจจาระ

**2) Parasympathetic defecation reflex** เมื่อปลายประสาทที่ไส้ตรงถูกกระตุ้นจะส่งสัญญาณไปที่ไขสันหลัง แล้วสัญญาณจะถูกส่งกลับโดยผ่านทางประสาท Parasympathetic ในเส้นประสาทเพลวิกมายังลำไส้ใหญ่ขาลง ลำไส้ใหญ่ส่วนคด ไส้ตรง และทวารหนักเพื่อไปเพิ่มการบีบตัวแบบบีบเคลื่อน และเพิ่มความแรงให้กับ Intrinsic defecation reflex

อุจจาระ (feces, stool) เป็นกากอาหารที่ถูกขับทิ้ง มีประมาณ 100-200 กรัมต่อวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของอาหาร อาหารที่มีเส้นใย (fiber) มากทำให้มีอุจจาระมาก อุจจาระประกอบด้วยน้ำประมาณ 70% และของแข็ง 25% ซึ่งประกอบด้วยกากใยซึ่งย่อยไม่ได้ เกลือน้ำดี มูก แบคทีเรีย แคลเซียมฟอสเฟต

## 3.2 การหลั่งน้ำย่อย (Gastrointestinal secretion)

### 3.2.1 การหลั่งน้ำลาย (salivary secretion)

น้ำลาย (saliva) หลั่งประมาณวันละ 1-1.5 ลิตร ประกอบด้วยอิเลกโตรลัยท์ต่างๆ เช่นโซเดียม โปตัสเซี่ยม คลอไรด์ และไบคาร์บอเนต เอ็นไซม์ย่อยไขมัน (lingual amylase) เอ็นไซม์ย่อยแป้ง (salivary amylase) และน้ำเมือก มี pH อยู่ระหว่าง 6.0 ถึง 7.4 น้ำลายช่วยทำให้อาหารอ่อนนุ่ม ง่ายต่อการกลืน ในน้ำลายยังมีอิมมูโนโกลบูลินเป็นแอนติบอดี ช่วยทำลายเชื้อโรคในปาก

อัตราการหลั่งน้ำลายปกติเมื่อไม่มีตัวกระตุ้นประมาณ 0.5 มล./นาทีและมีอัตราการหลั่งสูงสุดได้ถึง 7มล./นาที การควบคุมการหลั่งน้ำลายถูกควบคุมโดยศูนย์ควบคุมการหลั่งน้ำลาย (salivary center) ในสมองส่วนเมดัลลาซึ่งรับสัญญาณประสาทมาจากบริเวณปากและสมองส่วนกลาง

การเคี้ยวอาหารจะกระตุ้นตัวรับรู้ทางกล (mechanoreceptor) ในบริเวณกล้ามเนื้อที่ใช้เคี้ยวอาหาร หรือการได้กลิ่นและรสของอาหารจะมีตัวรับรู้ทางเคมีส่งสัญญาณเข้าสู่ศูนย์ควบคุมการหลั่งน้ำลายโดยตรง ในขณะที่มีปัจจัยบางชนิดมีผลยับยั้งการหลั่งน้ำลาย เช่น ความอ่อนล้า การนอน ความกลัว และมีสภาวะการสูญเสียน้ำในร่างกาย เป็นต้น

ระบบประสาทอัตโนมัติที่มาควบคุมมีทั้ง parasympathetic และ sympathetic แต่ความสามารถในการกระตุ้นของประสาท parasympathetic มีมากกว่า ผลการกระตุ้นประสาท parasympathetic จะทำให้มีการหลั่งน้ำและอิเลกโตรลัยท์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนการกระตุ้นประสาท sympathetic จะทำให้มีการหลั่งเอนไซม์ amylase

### 3.2.2 การหลั่งในหลอดอาหาร

การหลั่งในหลอดอาหาร ส่วนใหญ่เป็นกลัยโคโปรตีน และน้ำเมือก มีหน้าที่หลักในการหล่อลื่นและเคลือบเยื่อบุหลอดอาหาร ป้องกันการทำลายจากอาหารในขณะกลืน และป้องกันกรดจากน้ำย่อยในกระเพาะอาหารไหลกลับขึ้นมา

### 3.2.3 การหลั่งในกระเพาะอาหาร

บริเวณผิวหน้าของชั้นเยื่อเมือกภายในกระเพาะอาหารจะปกคลุมด้วยเยื่อบุผิวซึ่งจะหลั่งน้ำเมือกและด่างเพื่อปกป้องเซลล์เยื่อบุจากน้ำย่อยกระเพาะอาหาร และการเสียดสีที่เกิดจากการเคลื่อนไหวในกระเพาะอาหาร ต่อมต่างๆ จะมีรูเปิดของท่อมาเปิดออกที่ชั้นเยื่อเมือก เรียกว่า gastric pit

ในชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามโครงสร้างของต่อม ดังนี้

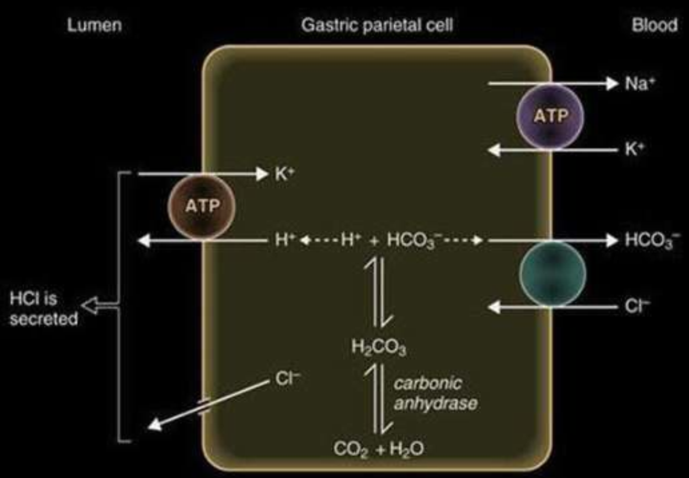
1) Cardiac gland อยู่ใต้กล้ามเนื้อหูรูดหลอดอาหารส่วนล่าง ประกอบด้วยต่อมที่หลั่งเมือก

2) Oxyntic (gastric glands) ประกอบด้วย mucus neck cells ทำหน้าที่หลั่งน้ำเมือก อยู่บริเวณทางเปิดของท่อ ลึกลงไปจะเป็น parietal cells ทำหน้าที่หลั่งกรดเกลือ และสารอินทรินซิค นอกจากนี้ยังพบ chief cells ทำหน้าที่หลั่ง pepsinogen

3) Pyloric glands ส่วนใหญ่หลั่งน้ำเมือกเพื่อปกป้องชั้นเยื่อเมือก และพบ G cells หลั่งฮอร์โมนแกสตริน

**3.2.3.1 การหลั่งกรดเกลือ (Hydrochloric acid, HCl)** ที่เยื่อเซลล์ด้านที่ติดกับโพรงของกระเพาะอาหารของ parietal cells จะมีเอ็นไซม์ $H^+$ -$K^+$ ATPase ทำงานโดยการหลั่ง $H^+$ออกนอกเซลล์ ขณะเดียวกันก็นำ $K^+$ เข้าเซลล์ เป็นการขนส่งแบบใช้พลังงาน ส่วนไบคาร์บอเนตจะถูกขนส่งออกนอกเซลล์ทางด้านล่างและด้านข้าง ตามความลาดเอียงทางไฟฟ้า ขณะเดียวกันคลอไรด์ ถูกขนส่งเข้ามาในเซลล์โดยโปรตีนตัวเดียวกับที่ขนส่ง ไบคาร์บอเนตออกนอกเซลล์ คลอไรด์เคลื่อนเข้าเซลล์ต้านความลาดเอียงทางไฟฟ้าเป็นแบบใช้พลังงาน อาศัยพลังงานที่ได้มาจากการขนส่งไบคาร์บอเนต ซึ่งเรียกว่า $Cl^-/HCO_3^-$ counter transporter และคลอไรด์จะถูกขนส่งออกจากเซลล์ทางด้านที่ติดกับโพรงของกระเพาะอาหารทางช่องคลอไรด์ โดยอาศัยความต่างระดับทางเคมี

Acetylcholine, Histamine และ Gastrin เป็นตัวกระตุ้นให้มีการหลั่งกรดเกลือ ในขณะที่ somatostatin, prostaglandin และ epidermal growth factor จะมีผลในการยับยั้ง




รูปที่ 9-42 กลไกการสร้างและหลั่งกรดเกลือจาก parietal cell ในกระเพาะอาหาร

**3.2.3.2 การหลั่งเปปซิน**

เปปซินจะถูกหลั่งจาก chief cells ของต่อมในกระเพาะอาหาร ในรูปที่ยังไม่สามารถทำงานได้ ชื่อ pepsinogen เมื่อ pepsinogen ถูกหลั่งเข้ามาในโพรงของกระเพาะอาหารถูกทำให้อยู่ในรูปที่สามารถทำงานได้โดยกรดเกลือ เรียกว่า pepsin โดยที่ pepsin จะทำงานได้ดีที่สุดที่ pH 3 หรือต่ำกว่า ส่วนใหญ่ตัวที่กระตุ้น parietal cells ให้หลั่งกรดเกลือ ก็จะกระตุ้น chief cells ให้หลั่ง pepsinogen ด้วย

**3.2.3.3 การหลั่ง Intrinsic factor**

Intrinsic factor (IF) ถูกหลั่งจาก parietal cells และมีความสำคัญต่อการดูดซึมวิตามิน บี 12 ที่ลำไส้เล็กส่วนปลาย

**3.2.3.4 การหลั่งเมือกและไบคาร์บอเนต**

เมือกที่หลั่งจาก mucus neck cells และ surface epithelial cells ของกระเพาะอาหาร ประกอบด้วยไกลโคโปรตีน มีลักษณะหนืดเหนียว การกระตุ้นการหลั่งน้ำเมือกจะคล้ายกับการกระตุ้นการหลั่งกรดเกลือ และเปปซิน

แนวกั้นชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร (gastric mucosal barrier) สารเมือกและสารละลายที่เป็นด่างที่หลั่งออกมาจะช่วยปกคลุมผิวหน้าของชั้นเยื่อเมือกกระเพาะอาหาร เป็นแนวป้องกันการทำลายจากน้ำย่อยอาหาร โดยบริเวณนี้จะมี pH ค่อนข้างเป็นกลาง ในขณะที่โพรงกระเพาะอาหารมี pH ประมาณ 2 ถ้าการหลั่งเมือกและไบคาร์บอเนตลดลง จะมีผลทำให้ผนังของกระเพาะอาหารถูกทำลายโดยกรดและเปปซิน อาจเกิดแผลในกระเพาะอาหาร

**3.2.3.5 การควบคุมการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร** แบ่งออกเป็น 3 ระยะ

**1. ระยะที่อาหารยังไม่ตกถึงกระเพาะอาหาร (Cephalic phase)** เกิดขึ้นก่อนอาหารจะตกถึงกระเพาะอาหาร การมองเห็น การได้กลิ่นอาหาร การชิมรส ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ จะเป็นตัวกระตุ้น โดยไปมีผลต่อประสาทเวกัสให้หลั่ง Ach ไปกระตุ้น parietal cells ให้หลั่งกรดเกลือ นอกจากนี้ Ach ยังไปกระตุ้น G cells ในแอนทรัมและลำไส้เล็กส่วนต้น ทำให้มีการหลั่งกรดเกลือ ในระยะนี้ทำให้มีการหลั่งกรดประมาณ 40 % ของอัตราการหลั่งกรดออกมาทั้งหมด

**2. ระยะที่อาหารอยู่ในกระเพาะอาหาร (Gastric phase)** เกิดเมื่ออาหารตกถึงกระเพาะอาหารส่วนแอนทรัมจะยืดออกมีผลไปกระตุ้นตัวรับรู้ทางกล ทำให้เกิดปฏิกริยาตอบสนองอัตโนมัติเฉพาะที่ (local reflex) และปฏิกริยาตอบสนองอัตโนมัติเวโกเวกัล (vagovagal reflex) ทำให้มีการหลั่ง Ach ไปกระตุ้นให้มีการหลั่งกรดเกลือจาก parietal cell และกระตุ้น G cell ให้หลั่งแกสตริน

**3. ระยะที่อาหารตกลงมาในลำไส้เล็กส่วนต้น (Intestinal phase)** ช่วงแรกเมื่ออาหารเหลว (chyme) ลงมาถึงลำไส้เล็กส่วนต้น จะกระตุ้นการหลั่งกรดให้มากขึ้น เนื่องจากการยืดขยายของลำไส้เล็กส่วนต้นจะไปกระตุ้นให้มีการหลั่งกรดโดยผ่านปฏิกริยาตอบสนองอัตโนมัติเวโกเวกัล ไปกระตุ้น parietal cells และ G cells ส่วนเปปไทด์และกรดอะมิโนจะกระตุ้น G cells ในลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลางให้หลั่ง gastrin

การยับยั้งการหลั่งกรดในช่วงต่อมา การที่มีกรดในลำไส้เล็กส่วนต้นจะไปกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมน secretin ไปยับยั้งการหลั่งกรด โดยไปยับยั้งการหลั่ง gastrin ของ G cells และลดการตอบสนองของ parietal cells ต่อสิ่งที่มากระตุ้น การมีไขมันที่ย่อยแล้วในลำไส้เล็กส่วนต้น ยังทำให้มีการหลั่งฮอร์โมนอีก 2 ชนิด คือ gastric inhibitory peptide และ cholecystokinin ซึ่งไปยับยั้งการหลั่งกรดของ parietal cells

### 3.2.4 การหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน (Pancreatic secretion)

ตับอ่อนเป็นต่อมขนาดใหญ่ทำหน้าที่ทั้งเป็นต่อมมีท่อ และต่อมไร้ท่อ ในส่วนนี้จะได้กล่าวเพียงการหลั่งน้ำย่อยตับอ่อน ส่วนประกอบของน้ำย่อยตับอ่อน ประกอบด้วย

**1. ส่วนประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์** ได้แก่ โซเดียม โปตัสเซี่ยม ไบคาร์บอเนต และคลอไรด์ ในส่วนของคลอไรด์มีความเข้มข้นสูงกว่าในพลาสมา ทำให้น้ำย่อยจากตับอ่อนมีฤทธิ์เป็นด่าง เพื่อช่วยเปลี่ยนอาหารเหลวจากกระเพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด ให้เป็นกลาง

**2. ส่วนประกอบที่เป็นสารอินทรีย์** ได้แก่

**2.1 น้ำย่อยที่ใช้ย่อยโปรตีน** ได้แก่

**2.1.1 ทริปซิน (Trypsin)** ถูกหลั่งในรูป trypsinogen หลังจากนั้น trypsinogen จะถูกเปลี่ยนเป็น trypsin โดยเอ็นไซม์ enteropeptidase หรือ enterokinase

**2.1.2 ไคโมทริปซิน (Chymotrypsin)** จะหลั่งออกมาในรูป chymotrypsinogen และถูกเปลี่ยนเป็นไคโมทริปซิน โดยทริปซิน

**2.1.3 คาร์บอกซี่เพปทิเดส (Carboxypeptidase)** หลั่งออกมาในรูป procarboxypep tidase และถูกเปลี่ยนเป็น carboxypeptidase โดยทริปซิน

**2.2 น้ำย่อยที่ใช้ย่อยคาร์โบไฮเดรท** ได้แก่ alpha amylase จะย่อยแป้ง กลัยโคเจน และคาร์โบไฮเดรท (ยกเว้นเซลลูโลส) ให้เป็น oligosaccharide

**2.3 น้ำย่อยที่ใช้ย่อยไขมัน** ได้แก่ lipase, cholesterol ester hydrolase, phospholipase A2

**การควบคุมการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน**

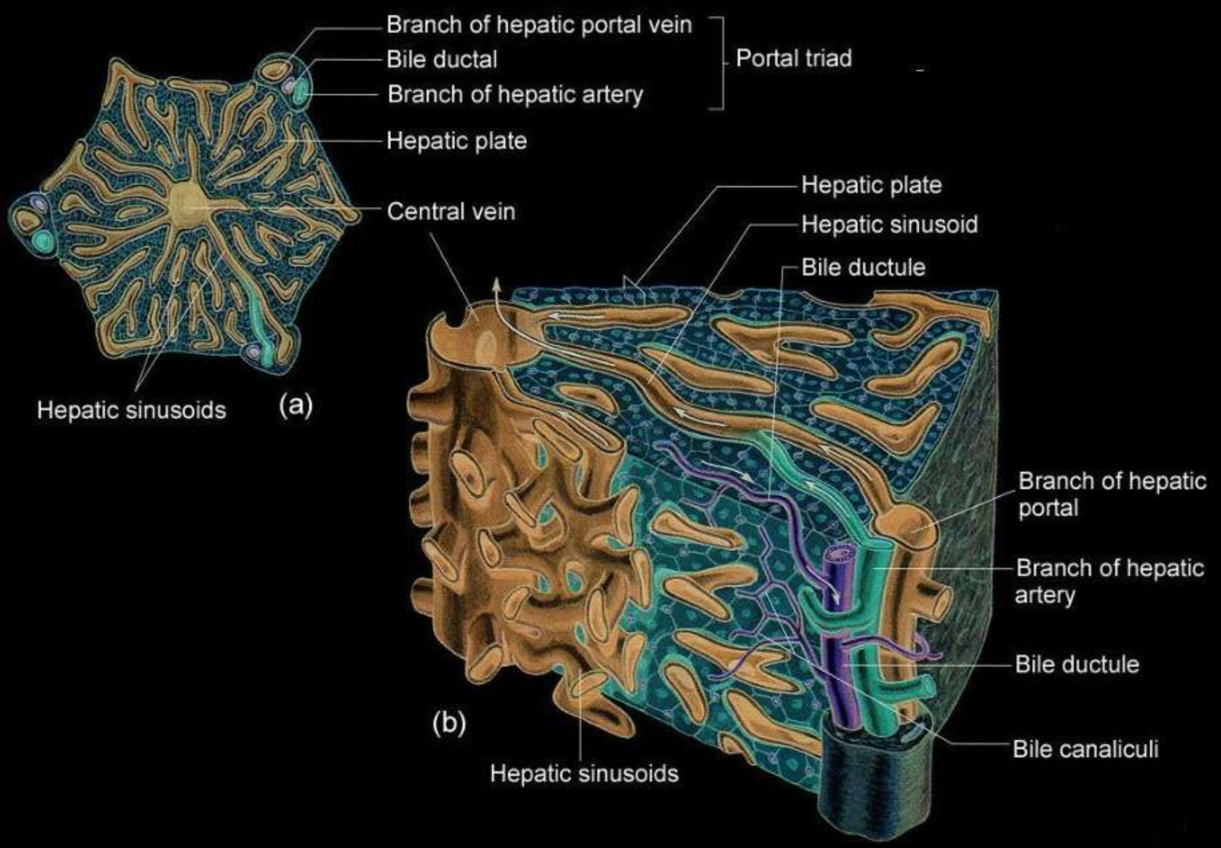
1. ระยะที่อาหารยังตกไม่ถึงกระเพาะอาหาร การได้กลิ่น การมองเห็น การเคี้ยวอาหาร จะกระตุ้นประสาทเวกัสที่ไปยังตับอ่อนให้หลั่งน้ำย่อยอาหารส่วนที่เป็นน้ำย่อยอาหารเป็นส่วนใหญ่ และกระตุ้น G cells ของกระเพาะอาหารให้หลั่ง gastrin ไปเพิ่มการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน

2. ระยะที่อาหารอยู่ในกระเพาะอาหาร การยืดของกระเพาะอาหารจะมีผลกระตุ้นประสาทเวกัสที่ไปยังตับอ่อนให้เพิ่มการหลั่งน้ำย่อย เรียกว่า gastropancreatic reflex

3. ระยะที่อาหารอยู่ในลำไส้เล็ก ในระยะนี้ฮอร์โมน secretin จาก S cells และ cholecystokinin จาก I cells จะเป็นตัวกระตุ้นการหลั่งน้ำย่อย

### 3.2.5 การหลั่งน้ำดีจากตับ (Bile secretion)

น้ำดีที่ผลิตจะถูกหลั่งออกจากเซลล์ตับเข้าสู่ bile canaliculi แล้วไหลไปรวมกันที่ท่อน้ำดี (hepatic duct) ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา และออกจากตับทางท่อนำน้ำดีจากตับ (common hepatic duct) ท่อนำน้ำดีจากตับจะไปรวมกับท่อนำน้ำดีจากถุงน้ำดี (cystic duct) เป็นท่อนำน้ำดีรวมใหญ่ (common bile duct) ไปยังลำไส้เล็กส่วนต้น และท่อนำน้ำย่อยจากตับอ่อน (pancreatic duct) จะไปเปิดออกที่ลำไส้เล็กส่วนต้นที่บริเวณ ampulla of Vater ซึ่งมีกล้ามเนื้อหูรูด sphincter of Oddi ทำหน้าที่ควบคุมการปิด เปิดของท่อ




รูปที่ 9-43 ภาพตัดขวางกลีบย่อย (lobule) ของตับ

**น้ำดี** หลั่งออกจากตับประมาณวันละ 600 -1,200 มล. จากนั้นนำไปเก็บที่ถุงน้ำดี จนกว่าจะมีอาหารเข้ามาในลำไส้เล็กส่วนต้น ถุงน้ำดีจะบีบตัวไล่น้ำดีออกมาทำหน้าที่ ดังนี้

1. ช่วยในการย่อยและการดูดซึมอาหารไขมัน โดยทำให้ไขมันที่มีขนาดใหญ่แตกเป็นไขมันที่มีขนาดเล็กลง เรียกว่า **emulsification** เพื่อให้น้ำย่อยไลเปสจากตับอ่อนเข้าไปย่อยได้ง่ายขึ้น

2. ช่วยขับของเสียออกจากเลือด รวมทั้งบิลิรูบิน ที่เกิดจากการสลายตัวของฮีโมโกลบิน และโคเลสเตอรอลที่สร้างจากเซลล์ของตับมากเกินไปต้องขับออกทางน้ำดี

**ถุงน้ำดี** น้ำดีเมื่อถูกหลั่งจากเซลล์ของตับ จะถูกนำมาเก็บไว้ที่ถุงน้ำดี จนถึงเวลาที่ต้องใช้ ถุงน้ำดีของคนมีขนาดเล็ก มีความจุประมาณ 15-60 มล. ถุงน้ำดีจะทำให้น้ำดีมีความเข้มข้นมากขึ้น โดยการดูดซึมโซเดียมคลอไรด์ ไบคาร์บอเนตและน้ำ ผ่านชั้นเยื่อเมือกของถุงน้ำดี ในขณะที่เกลือน้ำดี โคเลสเตอรอล เลกซิติน และบิลิรูบิน จะไม่ถูกดูดซึม ทำให้น้ำดีมีความเข้มข้นมากขึ้นประมาณ 5-20 เท่า

**การควบคุมการบีบตัวของถุงน้ำดี**

ในระยะ cephalic และ gastric phase ประสาทเวกัสและฮอร์โมนแกสตริน จะไปทำให้ถุงน้ำดีบีบตัวและกล้ามเนื้อหูรูดคลายตัว การขับน้ำดีออกจากถุงน้ำดีจะเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วที่สุดในระยะ intestinal โดยฮอร์โมน cholecystokinin จะเป็นตัวกระตุ้นที่ดีในการบีบตัวของถุงน้ำดี และทำให้กล้ามเนื้อหูรูด Oddi คลายตัว เมื่อมีอาหารเข้ามาในลำไส้เล็ก โดยเฉพาะอาหารไขมัน

**กรดน้ำดี (Bile acid)** กรดน้ำดี เลกซิติน สารสีในน้ำดีและโปรตีนถูกหลั่งออกจากเซลล์ตับ โดนที่กรดน้ำถูกสร้างจาก โคเลสเตอรอลภายในเซลล์ตับ กรดน้ำดีที่ถูกสร้างที่ตับ เรียกว่า กรดน้ำดีปฐมภูมิ (primary bile acid) ได้แก่ cholic, deoxycholic ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี

กรดน้ำดีบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดน้ำดีทุติยภูมิ (primary bile acid) โดยแบคทีเรียในทางเดินอาหาร นอกจากนี้กรดน้ำดีจะไปจับกับไกลซีน และทอรีน ทำให้ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่กรดน้ำดีจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม จึงเรียกว่าเกลือน้ำดี (bile salt)

**สารสีน้ำดี (Bile pigment)** เกิดจากเม็ดเลือดแดงที่มีอายุมาก ประมาณ 120 วัน จะถูกทำลายในระบบ RE system ส่วนของพอพัยริน (porphyrin) ของฮีโมโกลบิน จะถูกเปลี่ยนเป็นบิลิรูบิน เมื่อถูกหลั่งออกมาในกระแสเลือด จะไปจับกับอัลบูมิน เซลล์ตับจะทำหน้าที่แยกบิลิรูบินออกจากเลือด นำไปจับกับ glucuronic acid ได้เป็น bilirubin glucoronide และถูกขับออกไปกับน้ำดี ทำให้น้ำดีเป็นสีเหลือง

### 3.2.6 การหลั่งในลำไส้

ชั้นเยื่อเมือกของลำไส้ตั้งแต่ลำไส้เล็กส่วนต้นจนถึงลำไส้ตรง จะหลั่งน้ำคัดหลั่งที่ประกอบด้วยน้ำเมือก อิเลกโตรลัยท์และน้ำ ประมาณ 1,500 มล./วัน มีหน้าที่ป้องกันชั้นเยื่อเมือกจากการเคลื่อนไหวของอาหาร น้ำคัดหลั่งที่หลั่งออกมาในแต่ละส่วนของลำไส้จะมีลักษณะ คุณสมบัติและกลไกการควบคุมการหลั่งที่แตกต่างกัน

น้ำคัดหลั่งจากลำไส้เล็กส่วนต้น ในชั้นใต้เยื่อเมือกของลำไส้เล็กส่วนต้นจะมีต่อมที่หลั่งน้ำคัดหลั่งที่เป็นน้ำเมือกเป็นส่วนใหญ่

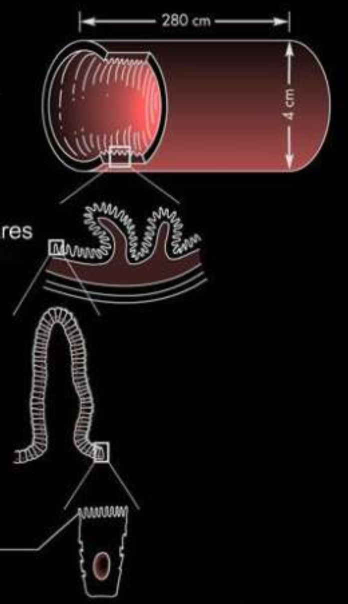
น้ำคัดหลั่งจากลำไส้ใหญ่ส่วนโคลอน ปริมาตรของน้ำคัดหลั่งที่หลั่งออกมาในลำไส้ใหญ่จะมีปริมาตรน้อยกว่าที่หลั่งจากลำไส้เล็ก แต่จะมีน้ำเมือกมากกว่า น้ำเมือกถูกสร้างจาก goblet cells ในชั้นเยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่ น้ำคัดหลั่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปตัสเซี่ยม และไบคาร์บอเนต และการหลั่งถูกกระตุ้นโดยการระคายเคืองของชั้นเยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่ และการกระตุ้นเส้นประสาทโคลิเนอจิก ส่วนการกระตุ้นเส้นประสาท sympathetic จะเป็นการยับยั้งการหลั่งสารคัดหลั่ง

## 3.3 การย่อยและการดูดซึม (Digestion and Absorption)

### 3.3.1 พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซึมอาหารของลำไส้เล็ก

บริเวณชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กจะมีลักษณะยื่นออกมาคล้ายนิ้วมือ เรียกว่าวิลไล villi (villi = pleural, villus = singular) ในคนพบประมาณ 20-40 villi/ตร.มม.

ในแต่ละ villi ประกอบด้วยหลอดเลือดฝอย และหลอดน้ำเหลืองตรงกลาง เรียกว่า **lacteal tube** เซลล์ที่ปกคลุม villi เรียกว่า เซลล์เยื่อบุ และพบว่าด้านบนสุดของเซลล์เยื่อบุจะมีส่วนยื่นเล็กๆ ของผนังเซลล์ยื่นออกไปเป็นจำนวนมาก เรียกว่า microvilli บริเวณ microvilli ของเซลล์เยื่อบุของลำไส้เล็กทั้งหมด เรียกว่า **ผนังบรัชบอร์เดอร์ (brush border)** ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ลำไส้เล็กมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นถึง 600 เท่า บริเวณผนังของ brush border นี้จะมีน้ำย่อยที่ช่วยในการย่อยอาหารพวก disaccharidase, peptidase, nuclease




| โครงสร้าง | การเพิ่มพื้นที่ผิว | พื้นที่ผิว (ตร.ซม.) |
|---|---|---|
| Small bowel | 1 | 3300 |
| Plica circulares | 3 | 10,000 |
| Villi | 30 | 100,000 |
| Microvilli | 600 | 2,000,000 |

รูปที่ 9-44 แสดงการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยและดูดซึม

**3.3.2 การย่อยและดูดซึมคาร์โบไฮเดรท**

คาร์โบไฮเดรทในอาหารเป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย แป้งในพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูป starch จะเป็นแอมิโลเพคติน (amylopectin) แอมิโลส (amylose) และเซลลูโลส (cellulose)

การย่อยอาหารจำพวกแป้งจะเริ่มต้นที่ปากโดยน้ำย่อย amylase จากน้ำลาย จะย่อยพันธะอัลฟา 1,4 ด้านในของแป้ง แต่ไม่สามารถย่อยพันธะอัลฟา 1,4 ทางด้านปลาย และพันธะอัลฟา 1, 6 ได้ น้ำย่อย amylase จะช่วยย่อยอาหารพวกแป้งได้เป็น maltose, maltotriose และ α-limited dextrin แต่เนื่องจากระยะเวลาที่อาหารอยู่ในปากสั้นมาก ทำให้การย่อยเกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อย

เมื่ออาหารตกลงมาถึงกระเพาะอาหาร ความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร จะไปยับยั้งการทำงานของน้ำย่อย amylase ในน้ำลาย เมื่ออาหารถึงลำไส้เล็กส่วนต้น น้ำย่อย amylase จากตับอ่อนจะย่อยแป้งได้ maltose, maltotriose และ α-1,4 malto-oligosaccharide และ α- limited dextrin จากนั้น oligo saccharide จะถูกย่อยต่อด้วย oligosaccharidase ที่ผนัง brush border ของเซลล์เยื่อบุที่ผนังลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง ดังนี้

=> Lactase ย่อย lactose ได้ glucose + galactose

=> Sucrase ย่อย sucrose ได้ glucose + fructose

=> α- limited dextrinase ย่อย α- limited dextrin

=> Glucoamylase ย่อย malto-oligosaccharide ได้ glucose

**การดูดซึมคาร์โบไฮเดรท**

โมโนแซคคาไรด์จะดูดซึมได้มากที่สุดที่ลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนต้นของลำไส้เล็กส่วนกลาง การดูดซึมโมโนแซคคาไรด์แต่ละชนิดจะมีวิธีการที่แตกต่างกัน

**การดูดซึมกลูโคส**

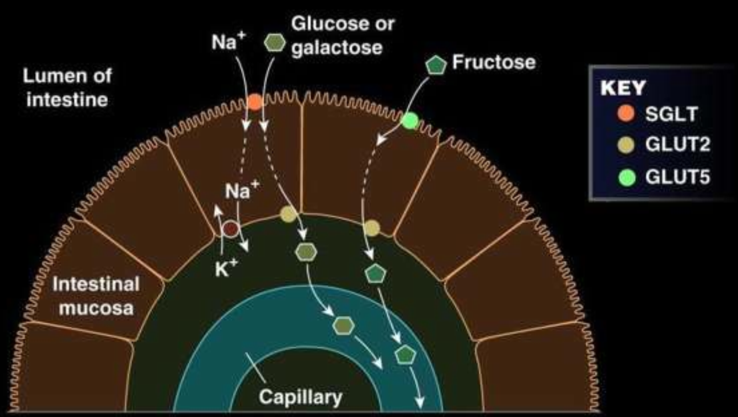
กลูโคสจะถูกดูดซึมแบบใช้พลังงานทุติยภูมิ และอาศัยโซเดียม กลไกการดูดซึมนี้อาศัยโปรตีนตัวพาที่อยู่ในเยื่อเซลล์ที่ผนัง brush border ของเซลล์เยื่อบุในลำไส้เล็ก โดยกลูโคสและโซเดียมจะจับกับตัวพาในอัตราส่วน 1:2 แล้วอาศัยความเข้มข้นของโซเดียมภายนอกเซลล์ที่สูงกว่าภายในเซลล์ เคลื่อนเข้ามาภายในเซลล์ จึงเรียกตัวพานี้ว่าตัวพากลูโคสที่พึ่งพาโซเดียม (sodium-dependent glucose transporter : SGLT1) เมื่อตัวพามาถึงส่วนในของเยื่อเซลล์ ความสามารถในการจับกับกลูโคสและโซเดียมจะลดลง ทั้งกลูโคสและโซเดียมจะถูกปล่อยออกจากตัวพา กลูโคสจะเคลื่อนออกจากเซลล์ทางผนังด้านล่างและด้านข้าง โดยอาศัยตัวพากลูโคสที่ไม่พึ่งพาโซเดียม (sodium-independent glucose transporter หรือ glucose transporter 2 : GLUT2) ส่วนโซเดียมออกจากเซลล์และเปลี่ยนกับโปตัสเซี่ยม

**การดูดซึมกาแลกโทส**

ใช้กระบวนการเดียวกับกลูโคส โดยใช้ตัวพาตัวเดียวกันกับกลูโคส ถ้าความเข้มข้นของกลูโคสและกาแลกโทสเท่าๆ กัน การดูดซึมกลูโคสจะเร็วกว่ากาแลกโทส

**การดูดซึมฟรุกโทส**

ใช้วิธีการแพร่โดยอาศัยตัวพาหมายเลข 5 (glucose transporter 5 : GLUT5) ซึ่งไม่ขึ้นกับโซเดียม ฟรุกโทสจะออกจากเซลล์ทางผนังด้านล่างและด้านข้างโดยการแพร่ซึ่งใช้ตัวขนส่งเดียวกับกลูโคส (GLUT2)




รูปที่ 9-45 แสดงการดูดซึมกลูโคส กาแลกโทส ฟรุกโทส

**Lactose intolerance** ในทวีปเอเชียและแอฟริกา จะพบคนที่มีเอ็นไซม์ lactase ต่ำ ทำให้การย่อย lactose เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ มีผลทำให้แลกโตสที่ไม่ถูกย่อยจะส่งไปที่ลำไส้ใหญ่ แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะเปลี่ยนแลกโตสให้อยู่ในรูปกรดแลกติกและมีแก๊ส $CO_2$ ทำให้ไปเพิ่มการเคลื่อนไหวลำไส้ใหญ่และเกิดอาการท้องเสีย ถ้าเป็นในทารกแรกเกิด เรียกว่า congenital lactose intolerance

**3.3.3 การย่อยและการดูดซึมโปรตีน**

เปปซินในกระเพาะอาหารย่อยโปรตีนได้ประมาณ 15% ของอาหารโปรตีน ได้เป็น peptide ขนาดเล็กและกรดอะมิโน การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็ก เอ็นไซม์ proteases ในน้ำย่อยจากตับอ่อน จะมีความสำคัญมากในการย่อยโปรตีน proteases ที่สำคัญ ได้แก่ ทริปซิน (trypsin) ไคโมทริปซิน (chymotrypsin) คาร์บอกซีเพปทิเดส เอ และ บี (carboxypeptidase A และ B) และอีลาสเทส (elastase) เอ็นไซม์เหล่านี้จะทำการย่อยโปรตีนออกเป็น peptide ขนาดเล็ก

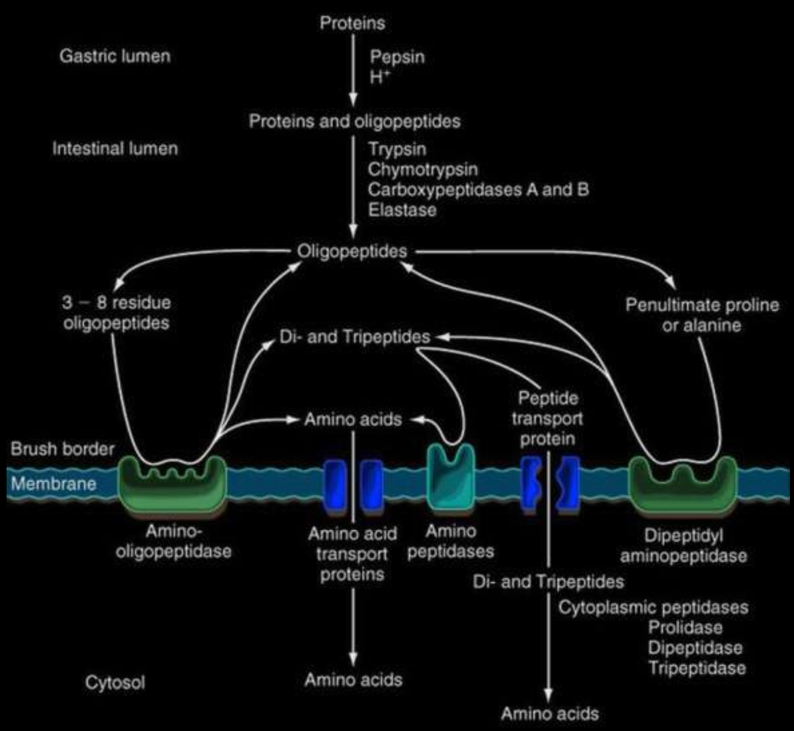
ที่ brush border ของเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้นๆของลำไส้เล็กส่วนกลางมีเอ็นไซม์ peptidase ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในเยื่อเซลล์ สามารถย่อยทางด้าน N-terminal ของ peptide ได้กรดอมิโน, เอ็นไซม์ dipeptidase ย่อย dipeptide ได้กรดอมิโน และ dipeptidyl aminopeptidase ย่อยด้าน N-terminal ของ peptide ได้ peptide

การย่อยอาหารโปรตีนโดยน้ำย่อยจากตับอ่อนและ peptidase ที่ผนัง brush border จะได้ peptide ขนาดเล็ก (ส่วนใหญ่เป็น dipeptide, tripeptide, tetrapeptide และกรดอะมิโน) ซึ่งจะเคลื่อนผ่านผนัง brush border ของเซลล์เยื่อบุเข้ามาภายในเซลล์ และ peptide ที่ถูกดูดซึมเข้ามาภายในเซลล์ จะถูกย่อยต่อโดยเอ็นไซม์ peptidase ที่อยู่ในไซโตพลาสซึม

การดูดซึม peptide ในบริเวณ brush border เป็นแบบอาศัยตัวพา และไม่ขึ้นกับโซเดียม แต่ต้องอาศัย $H^+$ จึงเรียกตัวพานี้ว่า ตัวพา peptide ที่อาศัย $H^+$ ($H^+$-peptide transporter) โดยที่ $H^+$ และ peptide จะจับกับตัวพาในอัตราส่วน 2:1

**การดูดซึม peptide และ กรดอะมิโน**

dipeptide และ tripeptide ดูดซึมได้ดีที่ลำไส้เล็กส่วนกลาง และเมื่อผ่านเข้าเซลล์จะถูกย่อยต่อจนได้กรดอมิโน สำหรับกรดอมิโนจะดูดซึมได้ดีที่ลำไส้เล็กส่วนปลาย เป็นระบบการขนส่งกรดอมิโนโดยเฉพาะ




รูปที่ 9-46 แสดงการย่อยและการดูดซึมโปรตีน

**การดูดซึมไขมัน**

ไขมันในอาหารส่วนใหญ่อยู่ในรูป triglyceride, cholesterol, cholesterol ester และ phospholipid เอ็นไซม์ gastric lipase ในกระเพาะอาหารย่อยไขมันได้ดีในภาวะกรด ส่วน lingual lipase จากน้ำลาย ทำงานได้น้อย

**การย่อยในลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง**

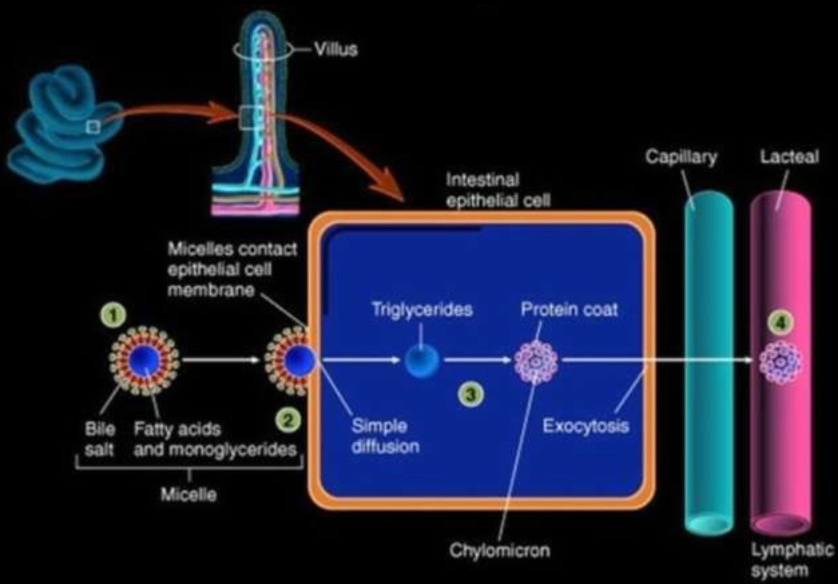
=> **Lipase** จากตับอ่อน ย่อยได้เฉพาะผิวหน้าของไขมัน ดังนั้นจึงต้องอาศัยน้ำดี ทำให้ไขมันแตกตัวเป็นไขมันหยดเล็กๆ (emulsification) ก่อน แล้วไลเปสจึงเข้าไปย่อยไขมัน

=> **Glycerol ester hydrolase** ย่อยไขมันได้กรดไขมัน 2 ตัวและ 2-monoglyceride 1 ตัว ในการย่อยนี้ต้องอาศัย colipase ซึ่งเป็นโปรตีนในน้ำย่อยจากตับอ่อนมาช่วยทำให้ glycerol ester hydrolase จับกับผิวหน้าของไขมัน ซึ่งเป็นหยดไขมันเล็กๆ ที่มีกรดน้ำดีเกาะอยู่

=> **Cholesterol esterase** ย่อยโคเลสเตอรอล ได้กรดไขมัน 1 ตัว และ โคเลสเตอรอลอิสระ

**การรวมตัวเป็นไมเซลล์** เกลือน้ำดีมีลักษณะทางโครงสร้างทางเคมีที่ละลายน้ำ (hydrophilic) และไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) ดังนั้น เมื่อเกลือน้ำดีทำให้ไขมันขนาดใหญ่ กระจายเป็นไขมันขนาดเล็กลงแล้ว น้ำย่อยไลเปสจากตับอ่อนจะย่อยไขมันขนาดเล็กได้เป็นโมโนกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ เกลือน้ำดีจะรวมตัวกับไขมันที่ย่อยแล้วเป็นหยดไขมันเล็กๆ เรียกว่า ไมเซลล์ (micelles) โดยไขมัน(กรดไขมันและโคเลสเตอรอล) จะอยู่ตรงกลาง (เป็นส่วนที่เป็น hydrophobic) ส่วนฟอสโฟลิปิดและโมโนกลีเซอไรด์จะเรียงตัวโดยหันด้าน hydrophilic ออก และเอาส่วน hydrophobic ซึ่งเป็นส่วนหางอยู่ตรงกลาง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ไขมันละลายอยู่ในน้ำได้ และสะดวกต่อการขนถ่ายไขมันมายัง brush border ของลำไส้เล็ก

**การดูดซึมไขมัน** เกิดขึ้นได้ดีที่ลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง เมื่อกรดไขมัน 2-โมโนกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิปิดและโคเลสเตอรอล ดูดซึมผ่านผนัง brush border เข้ามาในเซลล์ จะถูกนำไปที่ smooth endoplasmic reticulum แล้วถูกสร้างเป็นไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิปิด โคเลสเตอรอลเอสเตอ ซึ่งไขมันเหล่านี้จะรวมตัวกับ lipoprotein เป็นไคโลไมครอน (chylomicron) จากนั้น chylomicron จะผ่านออกจากเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กโดยวิธี exocytosis แล้วเข้าสู่ท่อน้ำเหลือง lacteal tube แล้วผ่านไปยังท่อน้ำเหลืองออกเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดดำ




รูปที่ 9-47 แสดงการดูดซึมไขมัน

## การดูดซึมน้ำและอิเล็กโตรลัยท์

### การดูดซึมน้ำ

น้ำจะดูดซึมที่บริเวณลำไส้เล็กประมาณ 800 มล.วัน ที่ลำไส้เล็กส่วนกลางมากกว่าส่วนปลาย และดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่ประมาณ 400 มล./วัน เหลืออีกประมาณ 100 มล. จะถูกขับทิ้งไปกับอุจจาระ การดูดซึมน้ำจะขึ้นอยู่กับการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสและกรดอะมิโน รวมทั้งการดูดซึมโซเดียมและคลอไรด์ด้วย

### การดูดซึมโซเดียม

โซเดียมจะดูดซึมตลอดลำไส้เล็ก โซเดียมแพร่เข้าสู่เซลล์ผนังบุลำไส้ตามความลาดเอียงเชิงไฟฟ้า และออกจากเซลล์ทางเยื่อเซลล์ด้านล่างและด้านข้าง โดยการขนส่งแบบใช้พลังงาน การดูดซึมมากที่สุดที่ลำไส้เล็กส่วนกลาง การดูดซึมโซเดียมมีความสำคัญมากต่อการดูดซึมกลูโคส กาแลกโตส และกรดอะมิโน ที่ลำไส้ใหญ่โซเดียมจะดูดซึมแบบต้านความลาดเอียงเชิงไฟฟ้า เนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมที่ลำไส้ใหญ่ค่อนข้างต่ำ

### การดูดซึมคลอไรด์และไบคาร์บอเนต

คลอไรด์และไบคาร์บอเนตจะดูดซึมที่ส่วนปลายของลำไส้เล็กส่วนกลาง ในขณะที่มีการดูดซึมคลอไรด์ จะมีการหลั่งไบคาร์บอเนต

### การดูดซึมวิตามินวิตามินบี 12

ส่วนใหญ่วิตามินบี 12 ที่อยู่ในอาหารจะจับกับโปรตีน เมื่อเข้ามาในกระเพาะอาหารจะถูกเอ็นไซม์เปปซินย่อยโปรตีนออกจากวิตามินบี 12 และวิตามินบี 12 จะเข้าไปจับกับโปรตีนตัวใหม่คือ R- protein ซึ่งโปรตีนชนิดนี้พบในน้ำลายและน้ำย่อยกระเพาะอาหาร เมื่อวิตามินบี 12 ที่จับกับ R- protein เข้ามาในลำไส้จะถูกน้ำย่อยโปรทิเอส จากตับอ่อนย่อย R- protein ออกจากวิตามินบี 12 จากนั้นวิตามินบี 12 จะไปจับกับ intrinsic factor

ที่ผนังบรัชบอร์เดอร์ของลำไส้เล็กส่วนปลาย จะมีตัวรับที่จับกับสารประกอบ วิตามินบี 12 - intrinsic factor แล้วนำสารประกอบนี้ผ่านเซลล์ดูดซึมโดยวิธี endocytosis จากนั้น lysozyme จะทำการย่อยสาร ประกอบนี้ออกจากกัน วิตามินบี 12 ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในหลอดเลือดดำปอร์ตัล จะกับโปรตีน ชื่อ cobalamine 2

การขาดวิตามินบี 12 จะทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงเจริญเติบโตช้า เกิดโรคโลหิตจางชนิดรุนแรง เรียกว่า pernicious anemia

### การดูดซึมวิตามินที่ละลายในไขมัน

วิตามิน เอ อี ดี เค ส่วนหนึ่งจะรวมกับไมเซลล์ ที่ประกอบด้วยเกลือน้ำดีและไขมันที่ถูกย่อยแล้ว เมื่อเข้ามาในเซลล์เยื่อบุก็จะรวมตัวกับไคโลไมครอนแล้วออกจากเซลล์ทางท่อน้ำเหลือง

### การดูดซึมแคลเซี่ยม

เกิดได้ตลอดความยาวลำไส้เล็ก ในส่วนลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลางจะเป็นการดูดซึมแบบใช้พลังงาน แคลเซี่ยมจะถูกดูดซึมตามความลาดเอียงเชิงไฟฟ้าเคมี ผ่านช่องทางแคลเซี่ยม ที่ผนังของบรัชบอร์เดอร์ มีโปรตีนเรียกว่า Intestinal membrane calcium-bonding protein (IMcal) จับกับแคลเซี่ยมที่บริเวณด้านในของผนังบรัชบอร์เดอร์

ภายในไซโตซอลของเซลล์ลำไส้เล็ก จะมีโปรตีนที่จับกับแคลเซี่ยม เรียกว่า แคลบินดิน (calbidin) ระดับแคลบินดินนี้มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซึมแคลเซี่ยม

ที่บริเวณเยื่อเซลล์ด้านล่างและด้านข้างจะมีโปรตีนที่ทำหน้าที่ขนส่งแคลเซี่ยมออกจากเซลล์ ตามความลาดเอียงเชิงไฟฟ้าเคมี โดยแคลเซี่ยมเอทีพีเอส ($Ca^{++}$ - ATPase) และโดยการแลกเปลี่ยนไอออน/แคลเซี่ยมไอออน ($Na^{+}/Ca^{++}$) รวมทั้งภายในเซลล์ยังมีถุง (vesicle) สามารถบรรจุแคลเซี่ยมแล้วนำแคลเซี่ยมออกจากเซลล์ด้วยวิธี exocytosis

**การดูดซึมเหล็ก**

เกิดที่ลำไส้เล็กส่วนต้น ที่ผนังบรัชบอร์เดอร์ จะมีโปรตีนขนส่งไปจับกับเฟอรัส ($Fe^{2+}$) ในกระแสเลือด แล้วขนส่งเข้ามาในเซลล์เยื่อบุ ส่วนเหล็กที่อยู่ในรูปเฟอริก ($Fe^{3+}$) จะไม่ถูกขนส่งเข้ามาในเซลล์ ภายในเซลล์เฟอรัสจะไปจับกับโปรตีนโมบิลเฟอริน (Mobilferrin) แล้วเคลื่อนผ่านไซโตซอลไปที่ผนังเซลล์ด้านล่างและด้านข้าง ที่ผนังเซลล์นี้จะมีตัวรับทรานส์เฟอริน (Transferrin receptor) ซึ่งจะทำหน้าที่กับทรานส์เฟอรินในพลาสมา ตัวรับทรานส์เฟอรินจะทำหน้าที่รับเฟอรัส จากโมบิลเฟอรินในไซโตซอล แล้วขนส่งออกที่ด้านหน้าของผนังเซลล์ แล้วสาร $Fe^{2+}$ – Transferrin ก็จะแพร่เข้าสู่กระแสเลือด

การดูดซึมเหล็กในรูปของฮีม (Heme) เอ็นไซม์ proteolytic จะย่อยฮีมออกจากโปรตีน แล้วฮีมจะถูกดูดซึมแบบเร่งรัด ที่เซลล์เยื่อบุของลำไส้เล็กส่วนต้น ภายในเซลล์เหล็กจะถูกแยกออกจากฮีมโดยกระบวนการ heme oxygenase แล้วฮีมจะถูกขนส่งเข้าไปในหลอดเลือดปอร์ตัล

**การดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่**

การดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่ จะเกิดที่ส่วนต้นของลำไส้ใหญ่ จึงเรียกส่วนต้นของลำไส้ใหญ่ว่า **Absorbing colon** ส่วนท้ายของลำไส้ใหญ่จะทำหน้าที่เก็บการอาหาร จึงเรียกว่า **Storage colon**

ชั้นเยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่จะคล้ายกับลำไส้เล็ก จะมีการดูดซึมโซเดียมและคลอไรด์ น้ำจะถูกดูดซึมตามเข้าในเซลล์ด้วย นอกจากนี้ชั้นเยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่จะหลั่งไบคาร์บอเนตเข้ามาในโพรงลำไส้ โดยการแลกเปลี่ยนกับคลอไรด์ ไบคาร์บอเนตนี้จะช่วยทำให้กรดที่เกิดจากแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่เป็นกลาง ลำไส้ใหญ่สามารถดูดซึมสารละลายและอิเล็กโตรลัยท์สูงสุด 5-7 ลิตร/วัน

*******************************************

เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**
**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**
**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบปัสสาวะ
(Introduction to Anatomy and Physiology)

**จำนวนชั่วโมง** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับคำที่ใช้ในการศึกษากายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบปัสสาวะ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกชื่ออวัยวะในระบบขับถ่ายปัสสาวะได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายกายวิภาคของไตได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของท่อไตได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ของกระเพาะปัสสาวะได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายกระบวนการกรองที่ glomerulus ได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายกระบวนการดูดซึมกลับที่ท่อไตได้อย่างถูกต้อง
7. กระบวนการขับออกที่ท่อไตได้อย่างถูกต้อง
8. บอกส่วนประกอบของน้ำปัสสาวะปกติได้อย่างถูกต้อง
9. อธิบายการกระจายตัวของน้ำหรือของเหลวในร่างกายได้อย่างถูกต้อง
10. อธิบายการควบคุมสมดุลน้ำในร่างกายได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายการควบคุมสมดุลกรด-ด่างในร่างกายได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

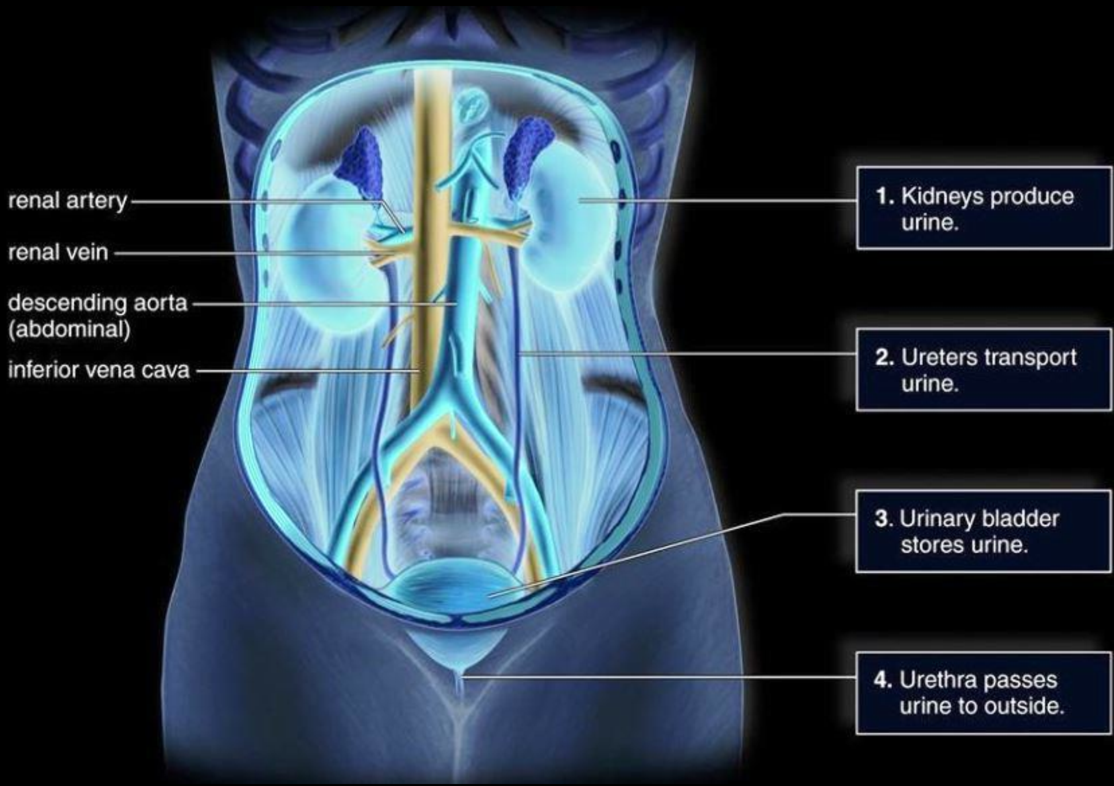
1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# บทที่ 10
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบปัสสาวะ
# (Anatomy and Physiology of Urinary system)

พ.จ.ท.นิพนธ์ นวลสนิท




ระบบขับถ่ายปัสสาวะ (Urinary system) เป็นระบบที่ประกอบด้วยอวัยวะหลายอย่างทำหน้าที่ร่วมกันในการทำน้ำปัสสาวะเก็บน้ำปัสสาวะชั่วคราวและขับน้ำปัสสาวะออกทิ้งเพื่อเป็นการรักษาสภาวะสมดุลของสิ่งแวดล้อมภายในร่างกาย

อวัยวะในระบบขับถ่ายปัสสาวะที่สำคัญ ได้แก่

1. ไต (Kidneys) เป็นอวัยวะสำคัญที่สุดของระบบนี้เป็นที่กรองเอาน้ำและของเสียออกจากโลหิตเป็นน้ำปัสสาวะ

2. หลอดไต (Ureters) นำน้ำปัสสาวะออกจากไตไปสู่กระเพาะปัสสาวะ

3. กระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder) เป็นที่เก็บน้ำปัสสาวะไว้ชั่วคราวเมื่อได้จำนวนที่พอเหมาะจึงหดตัวบีบขับน้ำปัสสาวะไปสู่หลอดปัสสาวะ (Urethra)

4. หลอดปัสสาวะ (Urethra) เป็นทางผ่านของน้ำปัสสาวะจากกระเพาะปัสสาวะไปสู่ภายนอกร่างกาย

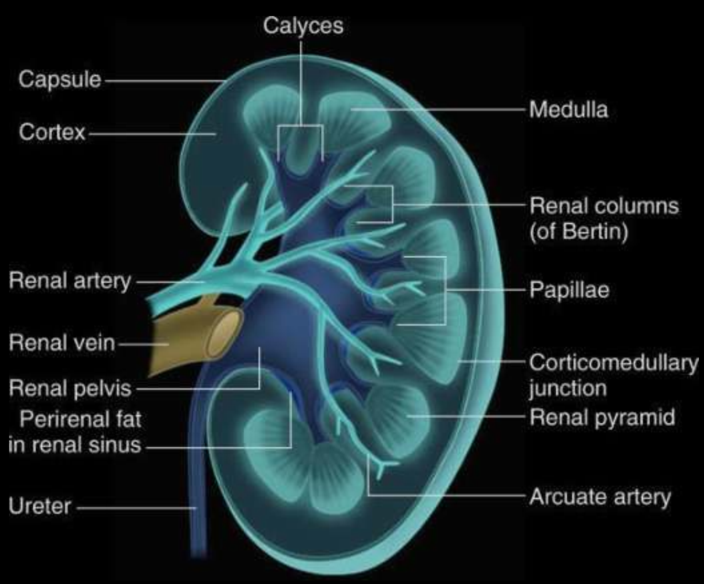
ไต (THE KIDNEY) ไตเป็นอวัยวะที่กรองของเสียจากปฏิกิริยาการเผาผลาญในร่างกายและน้ำส่วนเกินเพื่อกำจัดออกทางปัสสาวะ รวมทั้งเป็นอวัยวะที่สำคัญในการควบคุมความเข้มข้นของเกลือแร่ของของเหลวในเนื้อเยื่อทั่วร่างกาย นอกจากนี้ไตยังทำหน้าที่เป็นต่อมไร้ท่ออีกด้วยโดยสร้างและหลั่งฮอร์โมน erythropoietin เข้าไปในเลือดเพื่อกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดง, ฮอร์โมน renin ทำหน้าที่ควบคุมความดันโลหิตและ 1,25

hydroxycholecalciferal หรือวิตามิน D ซึ่งมีผลในการควบคุมสมดุลของ calcium ในเลือดและตามอวัยวะต่างๆ

ไตมี 2 ข้างในสภาวะสดมีสีน้ำตาลแดง วางตัวอยู่ในท้องทางด้านหลัง แต่ละอันวางขนานอยู่ทางด้านข้างของกระดูกสันหลังโดยอยู่หลังเยื่อบุช่องท้อง (retroperitoneal organ) ถูกหุ้มภายนอกโดยแผ่นเนื้อเยื่อไขมัน ขั้วบนของไตอยู่ตรงกับระดับขอบบนของกระดูกสันหลังส่วนอกอันที่สิบสอง ขั้วล่างจะไม่เลยลงไปต่ำกว่ากระดูกสันหลังส่วนเอวอันที่สาม ไตข้างขวามักอยู่ในระดับต่ำกว่าไตข้างซ้ายเนื่องจากอยู่ใต้ตับและถูกตับเบียดลงมา ไตข้างซ้ายมีรูปร่างยาวและเล็กกว่าไตข้างขวาเล็กน้อยและอยู่ใกล้กับแนวกลางตัวมากกว่า แนวแกนตามยาวของไตแต่ละข้างจะชี้ลงล่างและชี้ออกทางด้านนอก แนวแกนตามขวางชี้ไปทางด้านข้างค่อนไปทางด้านหลัง ไตแต่ละข้างมีขนาดยาว 11 ซม. กว้าง 6 ซม. และหนา 3 ซม. ในเพศชายที่โตเต็มที่น้ำหนักของไตแต่ละข้างจะหนักประมาณ 150 กรัม ในเพศหญิงที่อยู่ในช่วงอายุเดียวกันน้ำหนักของไตจะหนักน้อยกว่าคือประมาณ 135 กรัม ในคนที่ผอมและหน้าท้องไม่หนานัก ขอบล่างของไตอาจคลำได้ในขณะที่ผู้นั้นหายใจเข้าอย่างเต็มที่โดยการคลำด้วยมือทั้ง 2 ข้างจากทางด้านหน้าและด้านหลังเอวใต้ชายโครงซึ่งในคนปกติโดยทั่วไปแล้วจะคลำไม่ได้

ไตมีรูปร่างคล้ายเม็ดถั่วโดยขอบด้านที่อยู่ห่างจากแนวกลางตัวจะโค้งนูน ส่วนขอบด้านที่อยู่ใกล้แนวกลางตัวจะเว้าเข้าสู่ขั้วไต ขั้วไต (hilum) คือ รอยแยกลึกในแนวตั้งเปิดเข้าสู่ด้านในค่อนไปทางด้านหน้าของไตเป็นบริเวณที่หลอดเลือดของไต (renal vessels) เส้นประสาทและกรวยไต (renal pelvis) บรรจุความสัมพันธ์ของโครงสร้างหลักที่ขั้วไตเป็นเครื่องหมายช่วยให้ทราบได้ว่าไตที่ตัดออกมาเป็นข้างซ้ายหรือข้างขวาคือ renal vein อยู่หน้าสุด renal artery อยู่ตรงกลางและกรวยไตอยู่ทางด้านหลังอาจพบแขนงหนึ่งของ renal artery เข้าสู่ขั้วไตทางด้านหลังต่อกรวยไตได้ เหนือขั้วไตขอบด้านในของไตจะอยู่ใต้ต่อมหมวกไต (suprarenal gland) และขอบด้านในใต้ขั้วไตจะมีส่วนเริ่มต้นของหลอดไตทอดขนานลงไป

ขั้วไตจะเปิดเข้าไปสู่ช่องกลางไต เรียกว่า renal sinus ภายในมีกรวยไตและหลอดเลือดของไตบรรจุอยู่ กรวยไตเมื่อพ้นออกไปนอกขั้วไตจะเรียวลงค่อยๆกลายเป็นหลอดไตภายใน renal sinus กรวยไตจะแยกออกเป็น 2 หรือ 3 แขนงใหญ่ซึ่งเรียกว่า major calyces แต่ละแขนงใหญ่นี้จะแบ่งออกเป็นแขนงย่อยซึ่งเรียกว่า minor calyces ทำให้เกิดมี 7 ถึง 13 minor calyces ในไตแต่ละข้าง calyx แต่ละอันจะบานออกเมื่อจ่อเข้ากับผนังของ renal sinus และส่วนที่บานออกนี้เองที่จะสวมเข้ากับตุ่มนูนที่ยื่นออกมาจากเนื้อไตเรียกว่า renal papillae



ไตและหลอดเลือดของไตฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน เรียกว่า ไขมันรอบไต (perirenal fat) ซึ่งมีความหนาที่สุดที่ขอบของไตและยื่นผ่านขั้วไตเข้าไปถึงใน renal sinus พังผืดที่หุ้มรอบ perirenal fat และไตมีลักษณะหนาและเหนียวเรียกว่าเยื่อหุ้มไตหรือ renal fascia

ขณะอยู่ในครรภ์ไตจะมีผิวเป็นก้อนนูน 12 ก้อน แต่ในผู้ใหญ่ที่โตเต็มที่แล้วก้อนเหล่านี้จะรวมกันเข้ากลายเป็นผิวเรียบแม้ว่าภายในยังคงแบ่งออกเป็นส่วนย่อยตามเดิมอยู่ก็ตาม

**ลักษณะโดยทั่วไปของไต**

ผิวนอกของไตถูกคลุมด้วยถุงหุ้มบาง (renal capsule) ซึ่งลอกออกจากเนื้อไตได้ง่ายเมื่อผ่าไตออกเป็น 2 ซีกจะพบว่าเนื้อไตมีลักษณะแตกต่างกัน 2 ส่วนคือ

renal medulla เป็นก้อนซีดลายรูปกรวยเรียกว่า renal pyramids ส่วนฐานชี้ไปทางเปลือกนอกในขณะที่ยอดชี้เข้าหา renal sinus และยื่นเลยเข้าไปใน minor calyces กลายเป็น renal papillae ในแต่ละ pyramids จะมีท่อส่วนปลายของหน่วยไตมาเปิดสู่ papillae มีประมาณ 116 ถึง 776 ท่อ

renal cortex เป็นส่วนที่อยู่ใต้ถุงหุ้มไต คลุมอยู่เหนือฐานของ renal pyramids และมีบางส่วนแทรกตัวลงไประหว่าง renal pyramids แต่ละอันที่อยู่ติดกันไปจนถึงผนังของ renal sinus ส่วนที่แทรกอยู่ระหว่าง renal pyramids นี้เรียกว่า renal columns เนื้อไตที่อยู่ระหว่างฐานของ renal pyramids แต่ละอันกับถุงหุ้มไตเรียกว่า cortical lobules ถ้าใช้เลนส์ขยายส่องดูชั้นของไตที่อยู่เหนือฐานของ renal pyramids จะเห็นเป็นเส้นแผ่ออกจากฐานของ renal pyramids เข้าไปใน cortical lobules ไปทางถุงหุ้มไตแล้วเล็กลงจนจางหายไปเรียกว่า medullary rays

**จุลกายวิภาคของไต (MICROSCOPIC ANATOMY OF THE KIDNEY)**

เนื้อไตประกอบด้วยหน่วยเล็กที่สุดที่ทำหน้าที่ในการกรองเลือด เรียกว่า nephron ของเหลวที่ถูกกรองออกมาจากเลือดจะผ่านไปตามท่อของ nephron ซึ่งในระหว่างนั้นจะมีการขับสารที่ร่างกายไม่ต้องการหรือมีมากเกินความจำเป็นออกไปในขณะเดียวกันก็มีการดูดซึมสิ่งที่มีประโยชน์แก่ร่างกายกลับเข้าสู่เลือด nephron ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนคือ

1. renal tubule
2. glomerulus

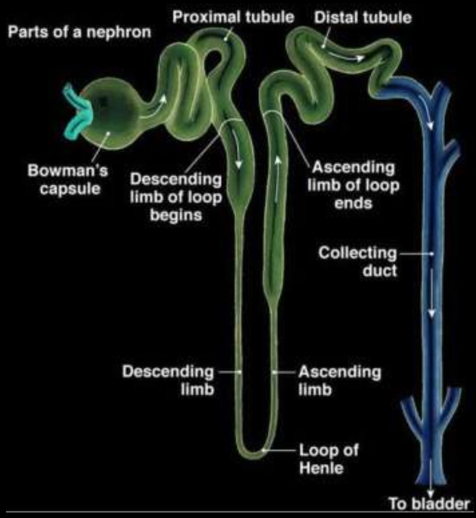
1. renal tubule เป็นท่อที่ทำหน้าที่สร้างน้ำปัสสาวะ ประกอบด้วยส่วนย่อย 4 ส่วนคือ

1.1 glomerular (Bowman's) capsule เป็นกระเปาะกลมรูปถ้วยอยู่บริเวณส่วนต้นของ nephron ประกอบด้วยผนัง 2 ชั้น บุด้วย simple squamous epithelium ด้านหนึ่งเว้าภายในบรรจุกลุ่มของหลอดเลือดฝอยที่เรียกว่า glomerulus อีกด้านหนึ่งต่อกับ proximal tubule ส่วนของ glomerular capsule ที่ห่อหุ้ม glomerulus ไว้ภายในเรียกรวมกันว่า renal corpuscle ส่วนใหญ่จะพบ renal corpuscle อยู่กระจัดกระจายทั่วไปในส่วน cortex ของเนื้อไต

1.2 proximal tubule เป็นท่อที่ต่อมาจาก glomerular capsule ประกอบด้วยส่วนที่คดเคี้ยวเรียกว่า convoluted tubule และส่วนที่ตรงเรียกว่า straight tubule ท่อนี้บุด้วย simple cuboidal epithelium

1.3 loop of Henle เป็นท่อบางตรงหักมุมวกกลับ 180 องศาเป็นรูปอักษร U บุด้วย simple squamous epithelium โดยเชื่อม proximal tubule กับ distal tubule พบในเนื้อไตส่วน medulla

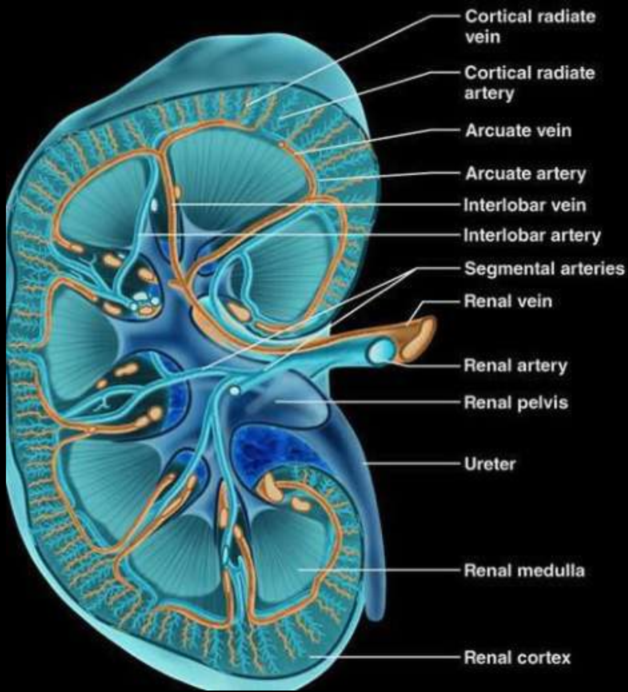
1.4 distal tubule มีลักษณะเหมือนกับ proximal tubule ท่อนี้นำน้ำปัสสาวะที่สร้างเสร็จแล้วเข้าสู่ collecting tubule

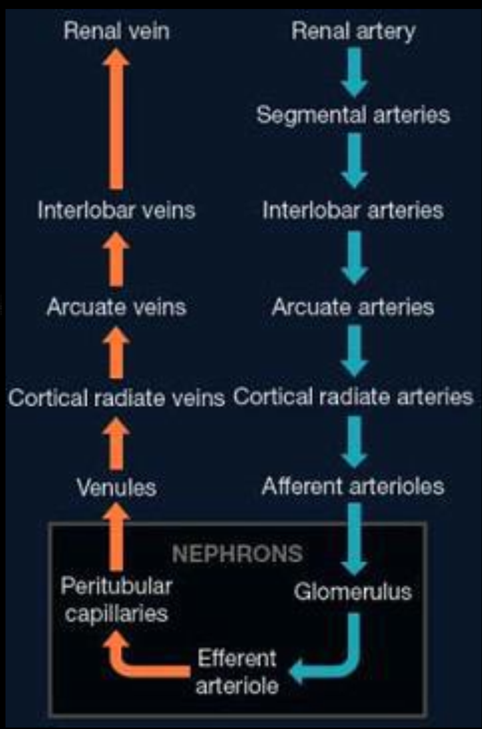



2. glomerulus เป็นกลุ่มของหลอดเลือดฝอยที่นำเลือดจากส่วนต่างๆของร่างกายเข้ามากรองที่ nephron หลอดเลือดที่เข้าและออกจาก glomerulus เรียกว่า afferent และ efferent arterioles ตามลำดับ

น้ำปัสสาวะที่สร้างจาก nephron จะไหลผ่าน distal tubule เข้าสู่ collecting tubule โดย collecting tubule หลาย ๆ อันจะรวมกันเป็น papillary duct เปิดเข้าสู่ minor calyx บริเวณ renal papillae เรียก nephron รวมกับ collecting tubule ว่า uriniferous tubule

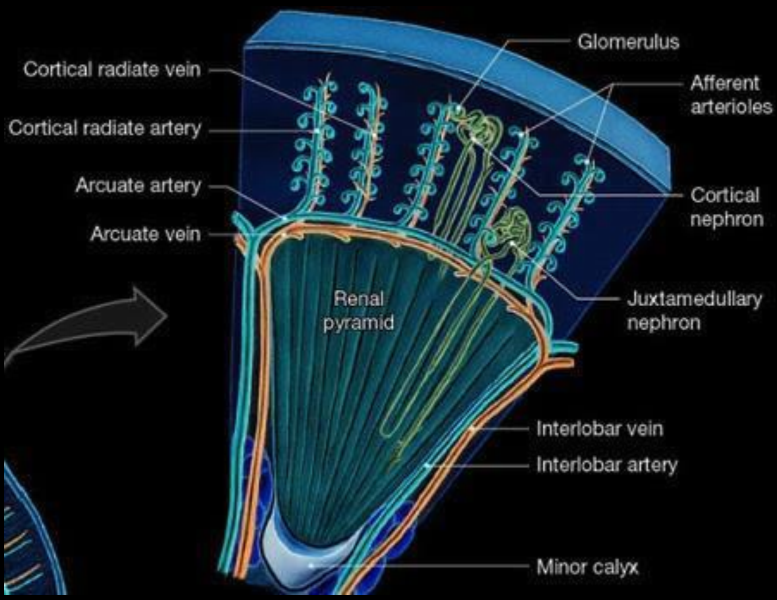
**หลอดเลือดและเส้นประสาทที่มาเลี้ยงไต**

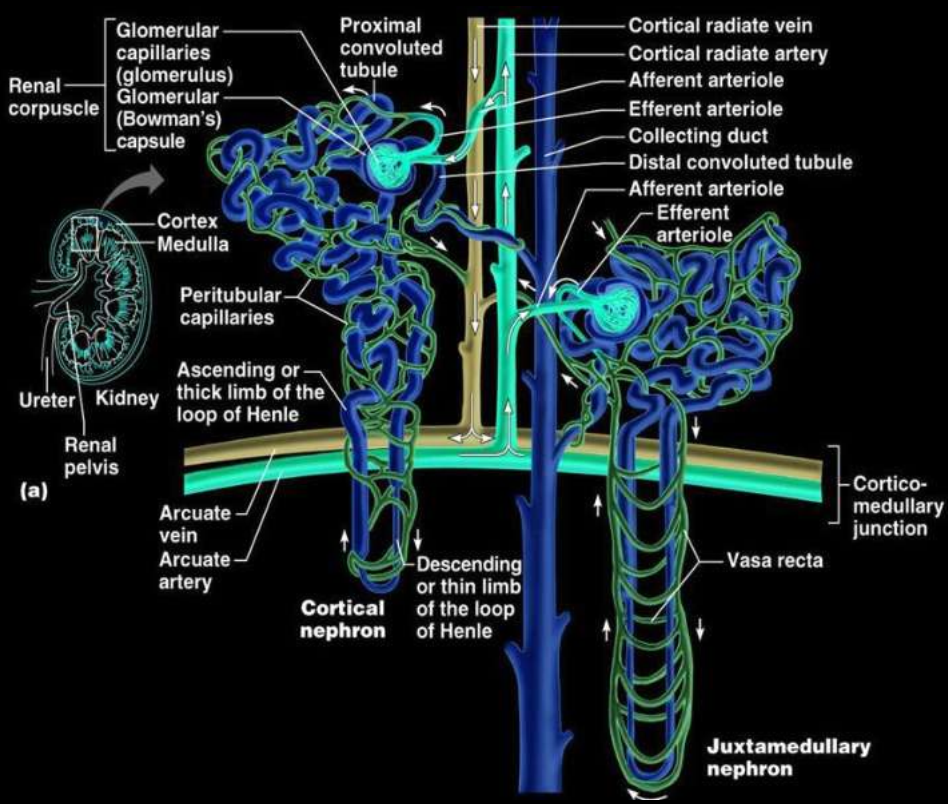



ไตแต่ละข้างได้รับเลือดมาเลี้ยงผ่านทาง renal artery ซึ่งเป็นแขนงของ abdominal aorta หลอดเลือดนี้ผ่านเข้าไตบริเวณขั้วไต (hilum) เมื่อเข้าสู่เนื้อไตจะแตกแขนงเป็น segmental arteries ไปเลี้ยงส่วนต่างๆของ

ไตจากนั้นจะแตกแขนงให้เป็น interlobar arteries อยู่ใน renal column เมื่อถึงบริเวณรอยต่อของ cortex กับ medulla interlobar arteries จะแตกแขนงให้เป็น arcuate arteries ทอดไปตามส่วนฐานของ renal pyramid ให้แขนงย่อยเรียกว่า interlobular arteries เข้าสู่ส่วน cortex ของเนื้อไตจากนั้นจะแตกแขนงเป็น afferent arterioles เข้าสู่ renal corpuscle กลายเป็น glomerulus เลือดที่ผ่านการกรองแล้วจะไหลออกจาก glomerulus ทาง efferent arterioles ซึ่งจะนำเลือดผ่านไปสู่ peritubular capillaries (vasa recta) ที่อยู่รอบ loop of Henle จากนั้นเลือดจะผ่านเข้าสู่ระบบหลอดเลือดดำ interlobular, arcuate interlobar, segmental และ renal veins ตามลำดับ เลือดดำจาก renal vein จะกลับสู่หัวใจโดยเทเข้า inferior vena cava



เส้นประสาทที่มาเลี้ยงไตเป็นแขนงมาจาก renal plexus ซึ่งเป็นระบบประสาทอัตโนมัติซิมพาเตติก (sympathetic) เข้าสู่ไตโดยมาร่วมกับ renal arteries แล้วแตกแขนงไปตามหลอดเลือดภายในไต เส้นประสาทนี้ควบคุมการหดตัวของหลอดเลือด ดังนั้นจึงควบคุมระบบไหลเวียนของเลือดภายในไตโดยการปรับขนาดของ arterioles

**หน้าที่ทั่ว ๆ ไปของไต**

1. เซลล์ปัสสาวะ (Formation of urine)

เซลล์ต่างๆจะผลิตของเสีย (Waste products) จากการสลายตัวของสารอาหารหรือเนื้อเยื่อตลอดเวลา ของเสียเหล่านี้เป็นอันตรายต่อการทำงานของเซลล์จึงจำเป็นต้องขับออกนอกร่างกายของเสียนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1.1 ก๊าซที่สำคัญคือ $CO_2$ ถูกขับออกทางลมหายใจออก

1.2 Solid ซึ่งละลายอยู่ในของเหลวภายในร่างกายโดยเฉพาะในเลือด เช่น urea, uric acid, creatinine เป็นต้น ของเสียเหล่านี้จะถูกขับออกจากร่างกายทางไต โดยออกมากับปัสสาวะ

2. ควบคุมความสมดุลของน้ำ (Water balance หรือ Water homeostasis) โดยทำหน้าที่ขับน้ำและ Sodium chlorine ที่เกินความจำเป็นแก่ร่างกายให้ออกจากร่างกาย

3. ควบคุมความสมดุลของสารพวกเกลือแร่ต่างๆ (Electrolyte balance)

ในคนปกติปริมาณของเกลือแร่ต่างๆในร่างกายมีค่าค่อนข้างจะคงที่เกลือแร่ที่สำคัญคือ $Na^+$, $K^+$, $Ca^+$, $HCO_3^-$, $Cl_2$, $SO_4$ ถ้าความเข้มข้นของเกลือแร่เปลี่ยนแปลงไปไตจะทำหน้าที่ขับส่วนที่เกินทิ้งไปหรือถ้าร่างกายขาดแคลนไตจะทำหน้าที่เก็บเกลือแร่เหล่านี้เอาไว้

4. ควบคุมสมดุลของความเป็นกรด-ด่าง (Acid-base regulation)

ในสภาวะปกติร่างกายของเราจะสร้างกรดออกมาตลอดเวลาดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องขับกรดออกไปโดยไตซึ่งจะทำหน้าที่ร่วมกับกลไกอื่น ๆ

เซลล์ทุกเซลล์จะทำหน้าที่ได้ตามปกติเมื่อร่างกายมี ph 7.4 (7.35-7.45) ถ้า ph ต่ำลง (acidosis) หรือสูงขึ้น (alkalosis) การทำงานของเซลล์ต่างๆจะเสียไป

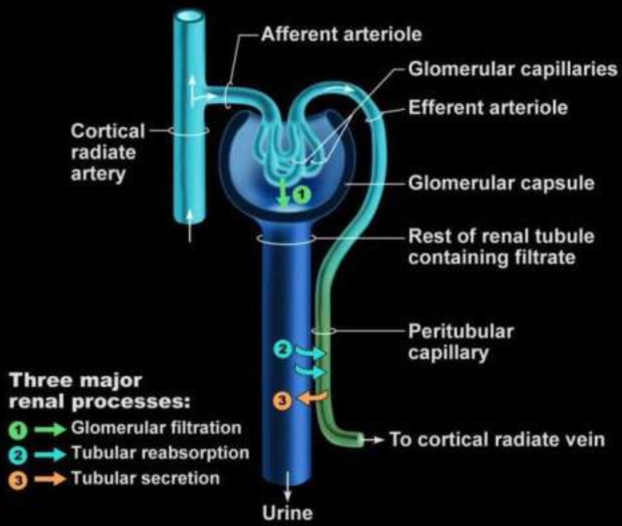
5. สร้างและหลั่งฮอร์โมนบางชนิด เช่น Erythropoietin ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ไปกระตุ้นไขกระดูกให้สร้างเม็ดเลือดแดง (RBC) ออกสู่กระแสเลือดเพิ่มขึ้น

6. ทำลายสารพิษ (Detoxification) ถ้าร่างกายได้รับสารพิษเข้าไป สารบางอย่างจะถูกเปลี่ยนสภาพให้เป็นสารที่ไม่มีพิษได้โดยไต

**การทำงานของไต**

หน้าที่หลักของไตคือการกรองเอาของเสียที่ร่างกายไม่ต้องการออกมาเป็นปัสสาวะและเพื่อไม่ให้น้ำและสารที่จำเป็นออกจากร่างกาย ร่างกายจึงมีวิธีดูดซึมสารต่าง ๆ กลับอีกครั้งหนึ่ง กระบวนการสร้างปัสสาวะของไต (Urine formation) เริ่มต้นจากเลือดแดงที่ไหลเข้าสู่ไตแล้วส่วนหนึ่งของ plasma จะกรองผ่าน Glomerular membrane เข้าสู่ Bowman's space และไหลผ่านลงมาตามท่อไตส่วนต่าง ๆ ท่อไตจะทำหน้าที่ดูดซึมสารต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์กลับเข้าสู่ร่างกายและขับสารที่ไม่ต้องการทิ้งไปในปัสสาวะ รวมทั้งเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบต่าง ๆ ของปัสสาวะให้เหมาะสมสุดท้ายจะกลายเป็นปัสสาวะไหลจาก collecting duct เข้าสู่กรวยไตและท่อนำปัสสาวะเพื่อนำไปเก็บไว้ในกระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder) สรุปแล้วกระบวนการสร้างปัสสาวะจะมีอยู่ 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ

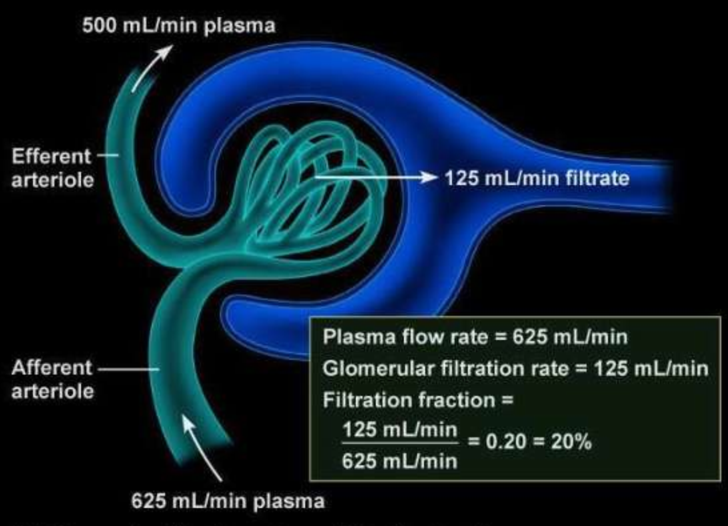
1. กระบวนการกรองที่ glomerulus เรียกว่า Glomerular filtration
2. กระบวนการดูดซึมกลับที่ท่อไตเรียกว่า Tubular reabsorption
3. กระบวนการขับออกที่ท่อไตเรียกว่า Tubular secretion




**กระบวนการกรองที่ Glomerulus (Glomerular filtration)**

เป็นกลไกที่ Plasma กรองผ่าน Glomerular membrane เป็นการกรองแบบธรรมดา Simple filtration เพื่อแยกสิ่งไม่เป็นประโยชน์ออกจากเลือด เกิดขึ้นที่ Bowman's capsule เนื่องจากการกรองนี้เกิดขึ้นโดยผ่านรูเล็ก ๆ ที่ผนัง (membrane) ของ Glomerulus นี้มีคุณสมบัติให้น้ำและสารละลายผ่านได้ แต่ไม่ยอมให้ Plasma protein ผ่านออกไปได้กระบวนการกรองจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งสำคัญที่จะก่อให้เกิดการกรองได้คือความดันเลือดที่ Glomerulus ที่เรียกว่า Glomerular pressure (ความดันที่อยู่ใน glomerular capillaries ซึ่งได้มาจากการบีบตัวของหัวใจ) ซึ่งมีค่าประมาณ 80-90 mmHg ค่านี้สูงกว่าความดันที่อยู่ในเส้นเลือดฝอยทั่วไปประมาณ 2 เท่า Glomerular pressure นี้มีความสำคัญมากเพราะเป็นความดันที่จะช่วยให้ plasma ถูกดันผ่านรูของ Glomerulus ลงมาใน Bowman's space ซึ่งเป็นกระบวนการขั้นตอนของการสร้างน้ำปัสสาวะที่ได้จากการกรองที่ Glomerulus เรียกว่า Glomerular filtrate หรือ Capsular urine ส่วนประกอบของ Glomerular filtrate ประกอบด้วยน้ำ (93-94%) และสารประกอบอื่น ๆ ที่เหมือนกับใน plasma เช่น vitamin, hormone, glucose, amino acids, electrolytes, urea, uric acid, creatinine เป็นต้น แต่ไม่มีโปรตีนหรือมีน้อยมากจนถือว่าไม่มีเลยเพราะรูของ Glomerular membrane ไม่ยอมให้เม็ดเลือดและ plasma proteins ผ่านออกมาได้ ดังนั้นเราจะไม่สามารถตรวจพบเลือดและโปรตีนในปัสสาวะของคนปกติได้เลย

อัตราการกรองของ Plasma ออกจาก Glomeruli ของไตทั้งสองข้างเรียกว่า Glomerular filtration rate GFR) มีหน่วยเป็น ลบ. ซม./นาที หรือ ml/min ค่า GFR ในคนปกติมีค่าประมาณ 125 ml/min หรือเราอาจกล่าวได้ว่า GFR หมายถึงจำนวนของ plasma หรือ fluid ที่กรองผ่าน glomeruli ของของไตทั้ง 2 ข้างต่อเวลา 1 นาที มีหน่วยเป็น ml ต่อนาที ค่าเฉลี่ย 125 ml/min หรือ 180 ลิตร/วัน




(b) Glomerular filtration rate and filtration fraction

ดังนั้นใน 1 วันจะมีเลือดมาไหลเวียนที่ไตและ ไตจะกรองน้ำออกมาประมาณ 180 ลิตรใน 24 ชม. แต่ไตจะทำหน้าที่ปล่อย filtrate ออกมาในปัสสาวะเพียงวันละ 1-1.5 ลิตรเท่านั้น ส่วนที่เหลือประมาณ 99% ของ filtrate ทั้งหมดไตจะเก็บและนำกลับเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดเพื่อให้ร่างกายใช้ต่อไปโดยกระบวนการดูดซึมกลับที่ท่อไต (Tubular reabsorption)

**กระบวนการดูดซึมกลับที่ท่อไต (Tubular reabsorption)**

ส่วนของ Renal tubules เป็นส่วนที่ดูดซึมเอาน้ำและสารบางอย่างที่ร่างกายต้องการกลับคืนสู่กระแสเลือด การดูดซึมกลับนี้มีอยู่ 2 วิธีคือ

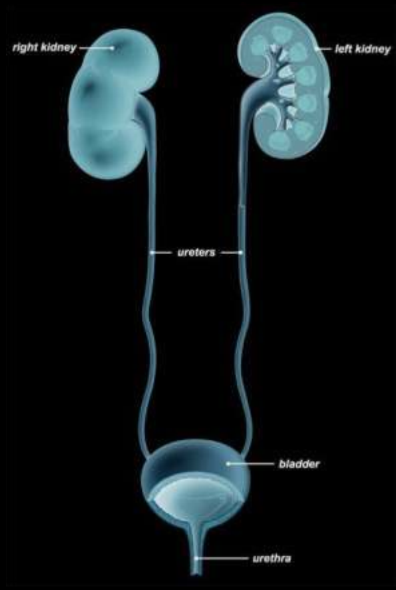
1. Active reabsorption เป็นการดูดซึมของเหลวผ่านเข้าไปใน Tubular epithelial cells แล้วจะฟุ้งกระจายเข้าไปในเส้นเลือดฝอยสารที่ดูดซึมกลับโดยวิธีนี้ ได้แก่ สารพวก glucose, amino acids, protein, uric acid จะถูกดูดซึมกลับบริเวณ Proximal convoluted tubule เกือบทั้งหมดพวก glucose, amino acid และ protein จะถูกดูดซึมเข้าไปใน tubule หมดไม่เหลือปนออกมากับปัสสาวะนอกจากการผิดปกติ

สารพวก Electrolyte ได้แก่ sodium, potassium, magnesium, calcium, chloride และ bicarbonate จะถูกดูดซึมจากทุก ๆ ส่วนของ Renal tubule ซึ่งมี Hormone aldosterone ช่วยควบคุมในการดูดซึม

2. Reabsorption โดยกระบวนการ Diffusion และ Osmosis เป็นการดูดซึมกลับของสารที่มีโมเลกุลใหญ่ ๆ ที่เป็นของเหลว ถ้ามีความเข้มข้นสูงก็จะซึมกลับโดยวิธีการ Osmosis เช่น glucose, plasma, protein, amino acid ส่วนสารละลายอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปของเหลวนั้นก็จะ diffuse เข้าไปในของเหลวอีกต่อหนึ่งเพื่อดูดซึมกลับเข้ากระแสเลือด

สารที่ร่างกายไม่ต้องการ ได้แก่ urea, uric acid, creatinine และของเสียที่เกิดจาก Metabolism ของ protein อื่น ๆ จะไม่สามารถซึมผ่าน tubules เข้าสู่เลือดได้จึงถูกขับไปสู่ Collecting tubules ออกมาเป็นน้ำปัสสาวะ

**หลอดไต (THE URETERS)**




หลอดไตเป็นหลอดกล้ามเนื้อซึ่งมีการบีบรัดตัวต่อเนื่องในทิศทางเดียว เพื่อนำน้ำปัสสาวะที่สร้างจากไตไปเก็บยังกระเพาะปัสสาวะ แต่ละหลอดยาวประมาณ 25 ถึง 30 ซม. ลักษณะเป็นหลอดหนาแคบทรงกระบอกต่อลงมาโดยตรงจากกรวยไตทางด้านบน ตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับกรวยไตมักคอดลงเป็นที่สังเกตได้ หลอดไตทอดตัวลงมาตามกล้ามเนื้อของผนังช่องท้องด้านหลัง (psoas major muscle) ขนานกับแนวกระดูกสันหลังเข้าสู่โพรงเชิงกราน (pelvic cavity) ไปเปิดเข้าสู่กระเพาะปัสสาวะตรงส่วนฐาน โดยทั่วไปหลอดไตมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 มม. และมีรอยคอด 3 แห่งคือด้านบนบริเวณที่ต่อกับกรวยไตด้านล่างตรงตำแหน่งที่เริ่มทอดตัวเข้าสู่โพรงเชิงกราน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทอดทับขอบของ true pelvis อยู่ค่อนมาทางแนวกลางตัวเมื่อเทียบกับกล้ามเนื้อของผนังช่องท้องด้านหลัง (psoas major muscle) และสุดท้ายเป็นตำแหน่งที่แคบที่สุดคือจุดสิ้นสุดของหลอดไตขณะที่แทงผ่านผนังกระเพาะปัสสาวะเข้าสู่ภายใน ในเพศหญิงขณะที่หลอดไตทอดผ่านด้านข้างของคอมดลูก (Cervix) ก่อนที่จะเข้าสู่กระเพาะปัสสาวะจะถูกทอดข้ามด้วยหลอดเลือดแดงหลักของมดลูก (uterine artery)

**จุลกายวิภาคของหลอดไต (MICROSCOPIC ANATOMY OF THE URETERS)**

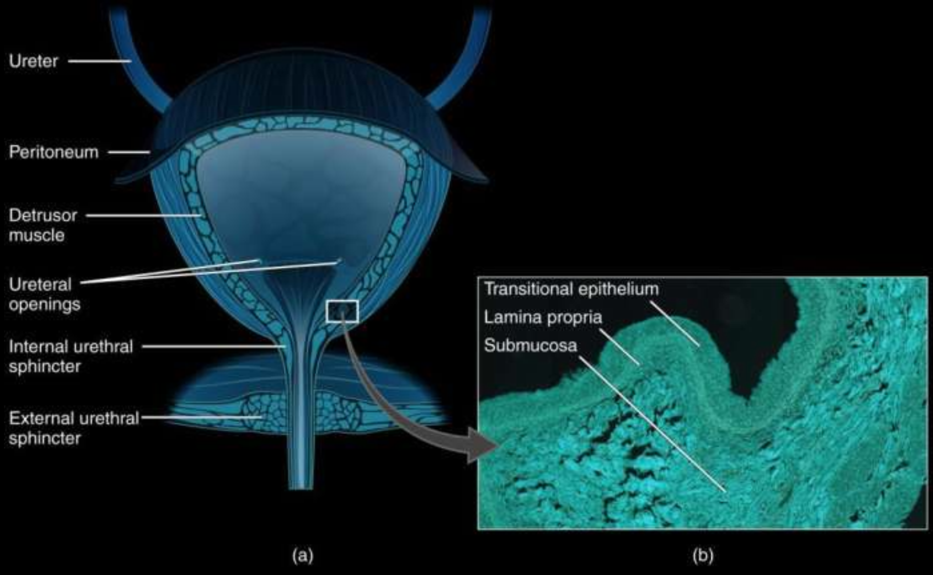
ทั้งกรวยไตและหลอดไตประกอบด้วยผนัง 3 ชั้นคือ Tunica mucosa, Tunica muscularis และ Tunica adventitia

1. Tunica mucosa บุด้วย transitional epithelium ในชั้น lamina propria มี lymphatic tissue มาก แต่ไม่พบต่อมเมือก ชั้นนี้มักพบเป็นสันตามยาวยื่นเข้าไปในรูของหลอดไต

2. Tunica muscularis เป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบที่หนาเรียงตัว 2 ชั้น ชั้นในเรียงตัวตามยาวหุ้มด้วยชั้นนอกซึ่งเรียงตัวเป็นวงรอบอีกชั้นหนึ่ง ยกเว้นในส่วนล่างของหลอดไตจะมีแต่ชั้นกล้ามเนื้อตามยาวและส่วนของกรวยไตซึ่งจะมีแต่ชั้นกล้ามเนื้อวงรอบที่ทำหน้าที่เป็นหูรูดเท่านั้น

3. Tunica adventitia เป็น fibroelastic connective tissue

**กระเพาะปัสสาวะหรือกระเพาะเบา (THE URINARY BLADDER)**




กระเพาะปัสสาวะเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่กักเก็บน้ำปัสสาวะแต่เพียงอย่างเดียวโดยขนาด รูปร่าง และตำแหน่งจะเปลี่ยนแปลงไปได้ตามปริมาณของน้ำปัสสาวะที่บรรจุอยู่ และเปลี่ยนแปลงตามขนาดของอวัยวะข้างเคียงเช่นมดลูก (uterus) และไส้ตรง (rectum) ด้วย เมื่อไม่มีน้ำปัสสาวะกระเพาะปัสสาวะจะอยู่เฉพาะในโพรงเชิงกราน (pelvic cavity) แต่เมื่อมีน้ำปัสสาวะเต็มจะขยายขึ้นไปทั้งด้านบนและด้านหน้าเข้าไปอยู่ในช่องท้องส่วนล่าง (abdominal cavity)

กระเพาะปัสสาวะที่ว่างเปล่าจะมีรูปร่างเป็นจัตุรมุข (tetrahedron) หรือรูปกรวยสามเหลี่ยมประกอบด้วยด้านฐาน (base), ส่วนคอ (neck), ส่วนยอด (apex), ผิวด้านบน (superior surface) และผิวด้านข้าง 2 ด้าน (inferolateral surface)

ด้านฐาน (base or fundus) เป็นรูปสามเหลี่ยมหันไปทางด้านหลังและด้านล่าง ในเพศหญิงสัมพันธ์อยู่กับผนังด้านหน้าของช่องคลอด (vagina) ในเพศชายวางอยู่หน้าไส้ตรง (rectum) ส่วนคอเป็นส่วนที่อยู่ต่ำสุดและเป็นส่วนที่ถูกยึดไว้แน่นที่สุดของกระเพาะปัสสาวะวางอยู่หลัง symphysis pubis ประมาณ 3 ถึง 4 ซม. กระเพาะปัสสาวะมีรูเปิดออกสู่หลอดปัสสาวะเรียกว่า internal urethral orifice ไม่มีรอยคอดเป็นพิเศษที่ส่วนคอนี้ ในเพศชายส่วนคอวางอยู่บนส่วนฐานของต่อมลูกหมาก (prostate gland) ในเพศหญิงวางอยู่บนกล้ามเนื้อที่เป็นพื้นของช่องเชิงกราน (pelvic diaphragm) ส่วนยอดชี้ไปทางด้านหน้าเหนือ symphysis pubis ผิวด้านบนเป็นรูปสามเหลี่ยมมีตำแหน่งของหลอดไตที่เข้าสู่กระเพาะปัสสาวะทั้ง 2 ข้างและส่วนยอดเป็นมุมทั้ง 3 ของสามเหลี่ยมนี้ ผิวด้านบนถูกคลุมด้วยเยื่อบุช่องท้องและมีลำไส้ใหญ่ส่วนคด (sigmoid colon) และลำไส้เล็กท่อนปลายสัมพันธ์อยู่กับผิวด้านนี้ ด้านข้างแต่ละด้านฝังอยู่ในไขมันของโพรงเชิงกราน

เมื่อกระเพาะปัสสาวะมีปัสสาวะเต็มรูปร่างจะเปลี่ยนไปเป็นรูปไข่ สามารถขยายขึ้นไปถึงระดับสะดือหรือสูงกว่าโดยส่วนหน้าของด้านข้างทั้ง 2 ด้านจะกลายมาเป็นผนังด้านหน้าพิงทาบไปกับผนังหน้าท้องและมีบริเวณระหว่างผนังด้านนี้กับผนังหน้าท้องที่ไม่มีเยื่อบุช่องท้องคลุมวัดจาก symphysis pubis ได้ถึง 5 ซม. ภายในกระเพาะปัสสาวะส่วนใหญ่ชั้นเยื่อเมือกจะไม่ยึดแน่นกับชั้นกล้ามเนื้อทำให้เกิดเป็นลอนนูนภายในทั่วไปเมื่อกระเพาะปัสสาวะหดตัวลอนนี้จะหายไปเมื่อกระเพาะปัสสาวะโป่งพองออกยกเว้นบริเวณสามเหลี่ยมเล็ก ๆ ที่เรียกว่า trigone ซึ่งอยู่เหนือและหลังต่อรูเปิดของหลอดปัสสาวะเยื่อเมือกบริเวณนี้ยึดแน่นกับชั้นกล้ามเนื้อและมัก

มีผิวเรียบมุมทั้ง 3 ของสามเหลี่ยมนี้เกิดจากรูเปิดของหลอดปัสสาวะทางด้านล่างและรูเปิดของหลอดไตทั้ง 2 ข้างทางด้านบน

จะเกิดการปัสสาวะเมื่อกระเพาะปัสสาวะบรรจุน้ำปัสสาวะไว้ 280 ลบ.ซม. และถ้ากลั้นไว้เกิน 500 ลบ.ซม. จะเกิดความรู้สึกอยากถ่ายปัสสาวะมากและจะปวดที่หน้าท้องส่วนล่างเป็นอย่างมาก

**จุลกายวิภาคของกระเพาะปัสสาวะ (MICROSCOPIC ANATOMY OF THE URINARY BLADDER)**

กระเพาะปัสสาวะประกอบด้วยผนัง 4 ชั้น คือ

1. Tunica mucosa เป็นชั้นเยื่อเมือกบุด้วย Transitional epithelium ภายในกระเพาะปัสสาวะ: ส่วนใหญ่ชั้นเยื่อเมือกจะไม่ยึดแน่นกับชั้นกล้ามเนื้อ ดังนั้นในเวลาที่กระเพาะปัสสาวะแฟบจะเห็นชั้นเยื่อเมือกหดตัวเป็นลอนนูน ลอนนี้จะหายไปเมื่อกระเพาะปัสสาวะโป่งออกยกเว้นบริเวณรูปสามเหลี่ยมที่อยู่ใกล้ฐานของกระเพาะปัสสาวะที่เรียกว่า trigone ซึ่งชั้นเยื่อเมือกบริเวณนี้จะเรียบอยู่เสมอเนื่องจากชั้นเยื่อเมือกยึดติดแน่นกับชั้นกล้ามเนื้อ ส่วนยอดของ trigone จะชี้ลงล่างไปที่รูเปิดของหลอดปัสสาวะ (internal urethral orifice) มุมทั้งสองตรงส่วนฐานของ trigone เป็นรูเปิดของหลอดไตแต่ละข้าง

2. Tunica submucosa เป็นชั้นของเนื้อยึดต่อที่ยึดชั้น mucosa ไว้กับชั้นกล้ามเนื้อ

3. Tunica muscularis เป็นชั้นกล้ามเนื้อของกระเพาะปัสสาวะเรียกว่า detrusor muscle ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ 3 ชั้น ชั้นในและชั้นนอกเรียงตัวตามยาว ชั้นกลางมีความหนามากที่สุดเรียงตัวบริเวณรอบรูเปิดของหลอดปัสสาวะ กล้ามเนื้อชั้นกลางจะหนาตัวขึ้นทำหน้าที่เป็นกล้ามเนื้อหูรูด (internal urethral sphincter) ควบคุมการไหลของน้ำปัสสาวะออกจากกระเพาะปัสสาวะโดยผ่านทางระบบประสาทอัตโนมัติเป็นวง

4. Tunica serosa and Tunica adventitia ทางด้านบนของกระเพาะปัสสาวะจะมี peritoneum คลุมส่วนทางด้านล่างเป็นเนื้อยึดต่อที่เรียงตัวกันหลวม ๆ (loose connective tissue)

**การทำงานของกระเพาะปัสสาวะ**

กระเพาะปัสสาวะทำหน้าที่เก็บกักน้ำปัสสาวะและปล่อยออกเป็นครั้งคราว การบีบตัวของกระเพาะปัสสาวะควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ Sympathetic อยู่ที่ Lumbar แล้วมี Efferent fibers ไปอยู่ที่กระเพาะปัสสาวะและกล้ามเนื้อหูรูด (Sphincter) เมื่อเริ่มมีน้ำปัสสาวะราว 150 ลบ.ซม. คนเราจะเริ่มปวดปัสสาวะเล็กน้อย แต่ยังไม่ต้องไปถ่ายปัสสาวะ กระเพาะปัสสาวะยังสามารถจุน้ำปัสสาวะไปได้เรื่อย ๆ โดยที่ไม่มีอาการปวดปัสสาวะเพิ่มขึ้นมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการขยายตัวของกล้ามเนื้อเรียบของผนังกระเพาะปัสสาวะจนกระทั่งปริมาณปัสสาวะในกระเพาะเพิ่มเป็น 400 ถึง 500 ลบ.ซม. จะมีอาการปวดปัสสาวะมากขึ้นจนไม่สามารถจะรอได้อีก ต้องไปถ่ายปัสสาวะ กล้ามเนื้อเรียบของกระเพาะจะบีบตัวอย่างแรงเพื่อดันน้ำปัสสาวะออกขณะเดียวกันกล้ามเนื้อหูรูดที่ปิดท่อปัสสาวะอยู่ก็จะหย่อนตัวเพื่อให้ปัสสาวะออกมาได้ ในภาวะปกติคนเราจะปัสสาวะประมาณไม่เกิน 5 ครั้ง ในเวลากลางวันจนถึงก่อนนอน และหลังจากหลับแล้วจะลุกขึ้นปัสสาวะไม่เกิน 1 ครั้งหรือไม่ต้องลุกขึ้นเลย อัตรานี้จะเปลี่ยนไปเมื่อคนดื่มน้ำมากขึ้นกว่าปกติ หรือในกรณีอากาศหนาว ทำให้เสียน้ำไปทางเหงื่อน้อยลง

**การขับถ่ายปัสสาวะ (Micturition)**

ไตมีหน้าที่ขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย ซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดเวลา การทำงานของไตนับว่าสลับซับซ้อนมากพอสมควรดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เลือดที่ผ่านไตก่อนจะไหลกลับออกมาจะได้รับการกรองเอาของเสียออกมาเป็นน้ำปัสสาวะของเสียที่สำคัญ ได้แก่ พวกยูเรีย (Urea) ฟอสเฟต (Phosphate) และซัลเฟต (Sulfate) เป็นต้น ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการทำงานของร่างกายส่วนอื่น เช่น การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อการสังเคราะห์อาหารของตับเป็นต้น

น้ำปัสสาวะมีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 1.001-1.040 หมายความว่ามีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำบริสุทธิ์เล็กน้อย มีความเป็นกรดอ่อน ๆ (pH 6)

ปัสสาวะมีสีเหลืองอ่อน ๆ เนื่องมาจากสาร Urochrome ที่เกิดจากการทำลายของอาหารโปรตีน อาจพบว่าปัสสาวะมีสีเข้มในตอนเช้าเมื่อปัสสาวะครั้งแรก เพราะว่าเวลากลางคืนไตขับน้ำปัสสาวะออกน้อยกว่าเวลากลางวัน แต่สารละลายมีปริมาณเท่าเดิมเมื่อปัสสาวะออกใหม่ ๆ จะไม่ค่อยมีกลิ่นมาก แต่จะมีกลิ่นของแอมโมเนียมากขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้นานขึ้นเพราะว่าเชื้อแบคทีเรียได้มีการเปลี่ยนสารยูเรียให้เป็นสารแอมโมเนีย

**ส่วนประกอบของน้ำปัสสาวะ**

น้ำ (Water) 96% หรือ 1-1.5 ลิตร

สารอนินทรีย์ (Inorganic substances)

| | | |
|---|---|---|
| โซเดียม | 6 | กรัม |
| คลอไรด์ | 7 | กรัม |
| แคลเซียม | 0.2 | กรัม |
| โปตัสเซียม | 2 | กรัม |
| ฟอสเฟต | 1.7 | กรัม |
| ซัลเฟต | 1.8 | กรัม |

สารอินทรีย์ (Organic substances)

| | | |
|---|---|---|
| ยูเรีย (Urea) 2% | 20-30 | กรัม |
| กรดยูริก (Uric acid) | 0.6 | กรัม |
| ครีอาตินิน (Creatinine) | 1.2 | กรัม |
| แอมโมเนีย (Ammonia) | 0.5-0.9 | กรัม |

ฮอร์โมน ในปัสสาวะมีฮอร์โมนหลายชนิดโดยเฉพาะฮอร์โมนที่ผลิตโดยอวัยวะสืบพันธุ์และจาก Hypophysis การทดสอบว่าผู้หญิงจะตั้งครรภ์หรือไม่ ก็ใช้ตรวจปัสสาวะว่ามี Chorionic gonadotropins (HCG) ซึ่งผลิตโดยรก

**หลอดปัสสาวะ (THE URETHRA)**

**หลอดปัสสาวะเพศชาย (MALE URETHRA)**

หลอดปัสสาวะในเพศชายมีความยาว 18 ถึง 20 ซม. เริ่มจากรูเปิดภายใน (internal orifice) ที่คอของกระเพาะปัสสาวะไปจนถึงรูเปิดภายนอก (external meatus) หรือรูเปิดของหลอดปัสสาวะที่ปลายองคชาต (penis) หลอดปัสสาวะในเพศชายสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนตามตำแหน่งคือ prostatic part, membranous part และ spongy part ตามลำดับ ช่องภายในหลอดปัสสาวะจะเป็นช่องแคบ ๆ เว้นแต่เมื่อกำลังถ่ายปัสสาวะช่องนั้นจะขยายกว้างออก

prostatic part เป็นส่วนที่กว้างที่สุดยาวประมาณ 3 ซม. ทอดทะลุผ่านตลอดต่อมลูกหมาก (prostate gland) ตั้งแต่ฐานถึงส่วนยอดท่อของต่อมลูกหมากจะเปิดเข้าสู่หลอดปัสสาวะในส่วนนี้ทางด้านข้างทั้ง 2 ข้างตรงกลางทางด้านหลังจะมีรอยนูนออกมาจากผนังเรียกว่า colliculus seminalis ซึ่งจะมีรูเปิดของท่อน้ำเชื้อจากถุงน้ำอสุจิ (seminal vesicle) เรียกท่อที่เปิดเข้าบริเวณนี้ว่าท่อฉีดน้ำอสุจิ (ejaculatory duct) หลอดปัสสาวะในส่วนต้นที่บริเวณคอของกระเพาะปัสสาวะเหนือต่อรูเปิดของท่อฉีดน้ำอสุจิ (ejaculatory duct) จะมีกล้ามเนื้อหูรูดของหลอดปัสสาวะที่ควบคุมด้วยระบบประสาทอัตโนมัติเรียกว่าหูรูดหลอดปัสสาวะชั้นใน (internal urethral sphincter)

membranous part เป็นส่วนที่สั้นและแคบที่สุดเริ่มต้นจากยอดของต่อมลูกหมาก ทะลุเข้าสู่กระเปาะโคน (bulb) ขององคชาต โดยผ่านทะลุกล้ามเนื้อกะบังลมของช่องเชิงกรานและแผ่นกล้ามเนื้อที่ขึงระหว่าง pubic arch (pelvic diaphragm และ urogenital diaphragm) กล้ามเนื้อลายที่อยู่รอบท่อปัสสาวะในส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นกล้ามเนื้อหูรูดหลอดปัสสาวะชั้นนอก (sphincter urethrae หรือ external urethral sphincter) ควบคุมภายใต้อำนาจจิตใจ

Spongy part อยู่ภายในส่วนขององคชาต (penis) มีความยาวประมาณ 15 ซม. เริ่มจากส่วนปลายของ membranous part ไปจนถึงรูเปิดของหลอดปัสสาวะชั้นนอก (external urethral orifice) glans penis หลอดปัสสาวะส่วนนี้มีส่วนที่ขยายกว้างออก 2 แห่งคือตรงบริเวณจุดเริ่มต้นเรียกว่า intrabulbar fossa และอีกแห่งตรงส่วนปลายใน glans penis ซึ่งเรียกว่า navicular fossa ท่อของ bulbourethral glands 2 ข้างที่อยู่ในชั้นกล้ามเนื้อระหว่าง pubic arch จะมาเปิดออกสู่ส่วนต้นของ spongy urethra ส่วน urethral glands ซึ่งเป็นต่อมเมือก (mucous glands) จะพบอยู่ทั่วไปใต้ชั้นเยื่อเมือก

**หลอดปัสสาวะเพศหญิง (FEMALE URETHRA)**

หลอดปัสสาวะในเพศหญิงยาวเพียง 4 ซม. เท่านั้นเริ่มจากรูเปิดภายในของหลอดปัสสาวะ (internal urethral orifice) ที่คอของกระเพาะปัสสาวะแล้วแทงทะลุชั้นกล้ามเนื้อระหว่าง pelvic arch ไปสิ้นสุดที่รูเปิดภายนอกของหลอดปัสสาวะ (external urethral orifice) รูเปิดนี้อยู่หน้าช่องเปิดของช่องคลอดและอยู่หลัง glans clitoridis ประมาณ 2.5 ซม. เช่นเดียวกับในเพศชายหลอดปัสสาวะในเพศหญิงจะมี urethral glands มากมายกระจายอยู่ทั่วไปทางด้านหน้าใกล้ปลายเปิดของหลอดปัสสาวะมีต่อมอยู่กลุ่มหนึ่งทั้ง 2 ข้างรวมกันเป็นท่อเปิดเข้าสู่ขอบด้านข้างของรูเปิดภายนอกของหลอดปัสสาวะ (external urethral orifice) เรียกต่อมกลุ่มนี้ว่า paraurethral glands กล้ามเนื้อหูรูดของท่อปัสสาวะในเพศหญิงมีเหมือนในเพศชายทุกมัด

**จุลกายวิภาคของหลอดปัสสาวะ (MICROSCOPIC ANATOMY OF THE URETHRA)**

**หลอดปัสสาวะเพศชาย (MALE URETHRA)**

หลอดปัสสาวะในเพศชายประกอบด้วยผนัง 2 ชั้นชั้นในเป็นชั้นเยื่อเมือกและชั้นนอกเป็นชั้น submucosa ซึ่งเป็นเนื้อยึดต่อที่ยึดชั้นเยื่อเมือกไว้กับโครงสร้างที่หลอดปัสสาวะทอดตัวผ่านชั้นเยื่อเมือกของหลอดปัสสาวะในเพศชายมีความแตกต่างกันในแต่ละบริเวณดังนี้ Prostatic urethra บุด้วย Transitional epithelium ซึ่งต่อเนื่องลงมาจากกระเพาะปัสสาวะ: ส่วนต้นของหลอดปัสสาวะจะมีชั้นกล้ามเนื้อเรียบวงรอบของกระเพาะปัสสาวะทำหน้าที่เป็นหูรูดหลอดปัสสาวะชั้นใน (internal urethral sphincter)

Membranous urethra ส่วนใหญ่บุด้วย Pseudostratified columnar epithelium อาจพบมี stratified columnar epithelium หรือ Transitional epithelium แทรกอยู่บ้างส่วนนี้ทอดตัวผ่าน urogenital diaphragm จึงมีกล้ามเนื้อลายหุ้มล้อมรอบทำหน้าที่เป็นหูรูดหลอดปัสสาวะชั้นนอก (external urethral sphincter) ควบคุมการขับถ่ายปัสสาวะภายใต้อำนาจจิตใจ

Spongy urethra เกือบทั้งหมดบุด้วย Pseudostratified columnar epithelium ยกเว้นบริเวณส่วนปลายของหลอดปัสสาวะที่ขยายกว้างขึ้นเรียกว่า fossa navicularis จะบุด้วย stratified squamous epithelium นอกจากนี้ในชั้นเยื่อเมือกตลอดความยาวของ spongy urethra ยังพบต่อมเมือกเรียกว่า urethral (Littre) glands ซึ่งทำหน้าที่ผลิตสารหล่อลื่นในเวลาที่มีเพศสัมพันธ์

หลอดปัสสาวะเพศหญิง (FEMALE URETHRA)

หลอดปัสสาวะในเพศหญิงประกอบด้วยผนัง 3 ชั้นชั้นในเป็นชั้นเยื่อเมือกโดยด้านที่อยู่ติดกับกระเพาะปัสสาวะบุด้วย Transitional epithelium ส่วนปลายบริเวณรูเปิดบุด้วย stratified squamous epithelium

แทรกด้วย Pseudostratified หรือ Stratified columnar epithelium ชั้นกลางเป็น loose fibrous connective tissue ที่มี venous sinuses เป็นจำนวนมากชั้นนอกเป็นชั้นกล้ามเนื้อตรงส่วนต้นเป็นกล้ามเนื้อเรียบที่ต่อเนื่องมาจากกระเพาะปัสสาวะส่วนปลายเป็นกล้ามเนื้อลายของ urogenital diaphragm ที่ทำหน้าที่เป็น external urethral sphincter

## สมดุลน้ำและกรดเบส

**1. สารน้ำในร่างกาย**

สารน้ำในร่างกายน้ำเป็นส่วนประกอบที่มากที่สุดในร่างกายโดยมีค่าประมาณร้อยละ 55-60 ของน้ำหนักตัว แต่อาจมีความแตกต่างกันได้ตามปริมาณของเนื้อเยื่อไขมันที่มีอยู่ในร่างกาย กล่าวคือคนที่มีเนื้อเยื่อไขมันมากจะมีสัดส่วนของน้ำต่อน้ำหนักตัวน้อยกว่าคนที่มีเนื้อเยื่อไขมันน้อย เนื่องจากเนื้อเยื่อไขมันมีน้ำเป็นส่วนประกอบน้อยกว่าเนื้อเยื่อชนิดอื่น ดังนั้นการคิดสัดส่วนที่แท้จริงของน้ำในร่างกายจึงมักคิดจากน้ำหนักตัวที่หักเอาน้ำหนักของเนื้อเยื่อไขมันออกแล้ว ซึ่งมักจะได้ค่าประมาณร้อยละ 70 นอกจากนี้สัดส่วนของน้ำในร่างกายยังแปรผันตามปัจจัยอื่น ๆ เช่นในภาวะปกติพบว่าเพศชายจะมีปริมาณน้ำในร่างกายมากกว่าเพศหญิง (เพศชายประมาณร้อยละ 60 และเพศหญิงประมาณร้อยละ 55 ของน้ำหนักตัว) เนื่องจากในภาวะปกติเพศหญิงมักมีเนื้อเยื่อไขมันมากกว่าเพศชายหรือในเด็กแรกเกิดจะมีสัดส่วนของน้ำมาก (ประมาณร้อยละ 75) และโตขึ้นปริมาณน้ำจะค่อยๆลดลง พบว่าเมื่ออายุมากกว่า 60 ปีสัดส่วนของน้ำในร่างกายจะลดลงเหลือประมาณร้อยละ 52 ในเพศชายและร้อยละ 46 ในเพศหญิงอย่างไรก็ตามสัดส่วนของน้ำในรางกายผู้ใหญ่ที่สุขภาพดีนั้นจะค่อยข้างคงที่แม้ว่าจะดื่มน้ำมากหรือน้อยกว่าปกติเพราะเมื่อร่างกายได้รับน้ำเข้าไปมากจะมีการขับปัสสาวะออกมากขึ้นและเมื่อร่างกายได้รับน้ำเข้าไปน้อยก็จะมีการขับปัสสาวะออกน้อยลงเช่นกัน

**1.1 การกระจายตัวของน้ำหรือของเหลวในร่างกาย**

น้ำในร่างกายจะอยู่ในรูปของสารละลายหรืออาจเรียกว่าของเหลวในร่างกาย ซึ่งของเหลวในร่างกายจะกระจายตัวอยู่ใน 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือของเหลวในเซลล์ (intracellular fluid, ECF) และของเหลวนอกเซลล์ (extracellular fluid, ICF)

**1.1.1 ของเหลวในเซลล์ (Intracellular fluid, ICF)**

ของเหลวในเซลล์หมายถึงของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งหมด มีความสำคัญในขบวนการเมแทบอลิซึมในคนที่มีน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัมจะมีของเหลวในร่างกายทั้งหมดประมาณ 42 ลิตร คิดเป็นของเหลวในเซลล์ประมาณ 28 ลิตรหรือมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 40 ของน้ำหนักตัว

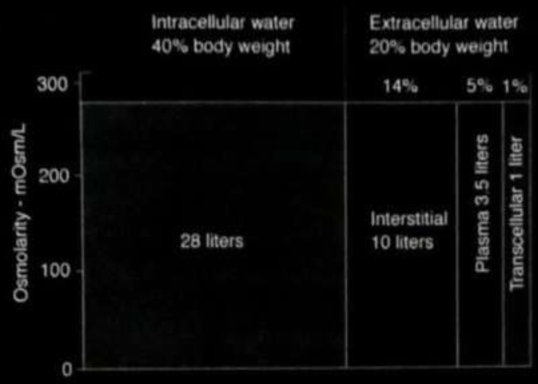
**1.1.2 ของเหลวนอกเซลล์ (Extracellular fluid, ECF)**

หมายถึงของเหลวที่อยู่นอกเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งหมด เช่น น้ำที่อยู่ช่องระหว่างเซลล์ หรือน้ำที่เป็นส่วนประกอบของเลือดและน้ำเหลือง ของเหลวนอกเซลล์คิดเป็น 1/3 ของของเหลวในร่างกายทั้งหมด หรือประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัว คนปกติสุขภาพดีน้ำหนัก 70 กิโลกรัมจะมีของเหลวนอกเซลล์ประมาณ 14 ลิตร ซึ่งของเหลวนอกเซลล์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1) ของเหลวที่ช่องระหว่างเซลล์ (Interstitial fluid, ISF) เป็นน้ำที่อยู่รอบ ๆ เซลล์ หรือน้ำตามช่องว่างระหว่างเซลล์มีหน้าที่ช่วยในการนำสารอาหารต่าง ๆ รวมทั้งออกซิเจนเข้าสู่เซลล์และนำของเสียออกจากเซลล์ ของเหลวที่ช่องระหว่างเซลล์มีสัดส่วนประมาณ 3/4 ของของเหลวนอกเซลล์ทั้งหมด

2) ของเหลวภายในหลอดเลือด (Intravascular fluid) คือ ของเหลวที่อยู่ในระบบไหลเวียนเลือด ประกอบด้วยส่วนหลักคือพลาสมาโดยของเหลวภายในหลอดเลือดคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 1/4 ของของเหลวนอกเซลล์ทั้งหมด หรือประมาณ 3-4 ลิตร

3) ของเหลวผ่านเซลล์ (Transcellular fluid) ของเหลวนอกเซลล์ยังรวมไปถึงของเหลวผ่านเซลล์ด้วยซึ่งหมายถึงของเหลวที่ถูกสร้างขึ้นภายในเซลล์แล้วถูกขับออกนอกเซลล์เพื่อทำหน้าที่เฉพาะเช่นของเหลวในระบบทางเดินอาหาร ของเหลวในสมองและไขสันหลัง ของเหลวในช่องปอด ของเหลวในช่องท้อง ของเหลวในไขข้อและของเหลวในลูกตา เป็นต้น โดยปริมาตรของของเหลวผ่านเซลล์ในร่างกายทั้งหมดมีประมาณ 1-2 ลิตร




## 1.2 ส่วนประกอบของของเหลวในร่างกาย (Constituents of body fluid)

### 1.2.1 ส่วนประกอบของของเหลวนอกเซลล์

เนื่องจากพลาสมาและ interstitial fluid ถูกแยกจากกันโดยผนังของหลอดเลือดฝอยที่มีค่าการยอมให้สารต่าง ๆ ผ่านได้สูง จึงพบว่าส่วนประกอบของของเหลวทั้งสองบริเวณนั้นมีลักษณะคล้ายกันยกเว้นส่วนประกอบที่เป็นโปรตีนที่จะพบได้มากในพลาสมา เนื่องจากโปรตีนมีโมเลกุลขนาดใหญ่จะแพร่ผ่านผนังของหลอดเลือดฝอยได้ยาก จึงไม่พบเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวที่ interstitial fluid แต่อาจพบโปรตีนขนาดเล็กอยู่บ้างซึ่งจำนวนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อ ดังนั้นส่วนประกอบที่แตกแต่งกันของพลาสมาและ interstitial fluid ก็คือจำนวนของโปรตีน

จากกฎของกิบส์-ดอนเนียน (Gibbs-Donnan equilibrium) ทำให้จำนวนของไอออนบวกในพลาสมาสูงกว่าใน interstitial fluid เล็กน้อย (ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์) ยกตัวอย่างเช่น จำนวนของโซเดียมไอออนในพลาสมาจะสูงกว่าใน interstitial fluid เล็กน้อย เนื่องจากโปรตีนมีประจุเป็นลบและพบในพลาสมามากกว่า ในทำนองเดียวกันก็จะพบว่าจำนวนของไอออนลบในพลาสมาจะต่ำกว่าใน interstitial fluid เล็กน้อยเช่นกัน เนื่องจากประจุลบที่โปรตีนจะผลักไอออนที่มีประจุบด้วยกัน แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดในพลาสมาและ interstitial fluid จะมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวในเซลล์แล้วพบว่า ของเหลวนอกเซลล์มีไอออนประจุบวกที่พบมากที่สุดคือโซเดียม ส่วนไอออนประจุลบที่มีจำนวนมากที่สุดคือ คลอไรด์และไบคาร์บอเนต นอกจากนี้ของเหลวนอกเซลล์ยังมีไอออนอื่น ๆ ที่พบได้จำนวนน้อย เช่น โพสแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสเฟต และกรดอินทรีย์ เนื่องจากของเหลวนอกเซลล์เปรียบเสมือนเป็น“ สภาวะแวดล้อมภายในร่างกาย” (internal environment) จึงต้องควบคุมให้คงที่เหมาะแก่การดำรงชีวิตของเซลล์

**1.2.2 ส่วนประกอบของของเหลวในเซลล์**

ส่วนประกอบของของเหลวในเซลล์นั้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ เช่นเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์กล้ามเนื้อ หรือเซลล์ตับ โดยเซลล์เหล่านี้จะมี functional protein และจำนวนไอออนที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวนอกเซลล์จะพบว่าของเหลวในเซลล์มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม ฟอสเฟต แมกนีเซียม และโปรตีนสูงกว่าของเหลวนอกเซลล์

**1.3 การแลกเปลี่ยนของน้ำในส่วนต่างๆของร่างกาย**

แม้ว่าส่วนประกอบของของเหลวนอกเซลล์และในเซลล์จะมีความแตกต่างกัน แต่ของเหลวทั้งสองส่วนจะมีค่าความเข้มข้นออสโมลารีตี (osmolarity) เท่ากันเพื่อรักษาปริมาณน้ำในเซลล์และสภาพของเซลล์ให้สามารถดำรงอยู่ได้อย่างเป็นปกติการเคลื่อนที่ของน้ำในส่วนต่างๆของร่างกายต้องอาศัยแรงดัน 2 ชนิดคือแรงดันน้ำ (hydrostatic pressure) แรงดันออสโมติก (osmotic pressure) แรงดันน้ำเกิดขึ้นโดยอาศัยการบีบตัวของหัวใจทำให้เกิดแรงดันผลักดันน้ำจากเส้นเลือดฝอยออกไปยังช่องว่างระหว่างเซลล์โดยแรงดันน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำด้วยถ้ามีปริมาณน้ำมากแรงดันน้ำก็จะสูงขึ้นเช่นกัน ส่วนแรงดันออสโมติกคือแรงที่ทำหน้าที่ในการดึงดูดน้ำไว้ภายในหลอดเลือดแรงนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวถูกละลายในสารละลายหรือปริมาณโปรตีนภายในเลือดโดยเฉพาะอย่างยิ่งอัลบูมิน ถ้าแรงดันออสโมติกเกิดจากโปรตีนเป็นหลักอาจเรียกแรงนี้ว่า oncotic pressure แรงดันเหล่านี้จะเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำที่อยู่ในส่วนของเหลวนอกเซลล์และของเหลวในเซลล์

การเติมน้ำหรือดื่มน้ำเข้าไป เมื่อเราดื่มน้ำเข้าไปน้ำจะแพร่อย่างรวดเร็วเข้าสู่ ECF และ ICF ตามลำดับผลที่ได้คือปริมาตรของน้ำใน ECF และ ICF เพิ่มขึ้น แต่ค่าออสโมลาริติลดลง ปริมาณน้ำที่ดื่มเข้าไปจะอยู่ใน ICF มากกว่า ECF เนื่องจาก ICF มีห้องบรรจุน้ำใหญ่กว่า แต่ในความเป็นจริงนั้นเมื่อคนปกติดื่มน้ำเข้าไปจะมีผลเปลี่ยนแปลงปริมาตรและค่าออสโมลาริตีของน้ำในร่างกายน้ำน้อยมาก เนื่องจากไตมีการขับน้ำปัสสาวะออกอย่างรวดเร็วก่อนที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

การเพิ่มตัวถูกละลายในร่างกาย เมื่อมีการให้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูง (มากกว่า 0.9 % โซเดียมคลอไรด์) ทางหลอดเลือดดำจะทำให้ปริมาตรน้ำใน ECF เพิ่มขึ้น แต่ปริมาตรน้ำใน ICE จะลดลงเนื่องจากโซเดียมคลอไรด์ที่ให้เข้าไปจะทำให้ค่าออสโมลาริตีของ ECF เพิ่มขึ้นน้ำใน ICF จึงแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกนอกเซลล์จนกว่าค่าออสโมลาริตีนอกเซลล์และในเซลล์จะเท่ากัน

**2. สมดุลน้ำ (Water balance)**

สมดุลน้ำคือภาวะสมดุลระหว่างน้ำที่ร่างกายได้รับกับน้ำที่ถูกขับถ่ายออกจากร่างกาย ในแต่ละวันร่างกายควรได้รับน้ำ (1,500-2,100 มิลลิลิตร) เพื่อให้ร่างกายขับของเสียออกไปในรูปของปัสสาวะ เมื่อร่างกายได้รับน้ำน้อยอาจทำให้เกิดภาวะขาดน้ำและมีของเสียสะสมอยู่ในเลือดได้ อย่างไรก็ตามการดื่มน้ำมากเกินไปก็อาจเกิดโทษต่อร่างกายได้เช่นเดียวกัน

ในภาวะปกติร่างกายจะได้รับน้ำ (water intake) ประมาณ 2,300 มิลลิลิตร ซึ่งจะมาจากการกินโดยตรงประมาณ 2,100 มิลลิลิตร และมาจากกระบวนการเมแทบอลิซึมประมาณ 200 มิลลิลิตร ขณะเดียวกันร่างกายก็ขับน้ำออก (water out) ประมาณ 2,300 มิลลิลิตรเช่นเดียวกัน โดยแบ่งเป็นทางปัสสาวะประมาณ 1,400 มิลลิลิตร ทางอุจจาระประมาณ 100 มิลลิลิตร ทางเหงื่อประมาณ 100 มิลลิลิตร และขับออกแบบ insensible ทางปอดและผิวหนังอีกประมาณ 700 มิลลิลิตร

**2.1 การควบคุมสมดุลน้ำในร่างกาย (Regulation of body fluid)**

ในภาวะปกติร่างกายจะควบคุมทั้งปริมาตรและความเข้มข้นของน้ำ (ประมาณ 300 mOsm/l) ในร่างกายให้มีค่าคงที่ โดยมีกลไกในการควบคุมสมดุลน้ำดังนี้

2.1.1 การควบคุมโดยระบบประสาท

เป็นการควบคุมโดยการทำงานของสมองส่วนไฮโปทาลามัส บริเวณศูนย์ควบคุมการกระหายน้ำ (thirst center) กล่าวคือเมื่อปริมาตรของน้ำในร่างกายลดลงหรือความเข้มข้นของน้ำในร่างกายเพิ่มขึ้นจะกระตุ้น thirst Center ทำให้เกิดการกระหายน้ำและดื่มน้ำมากขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระตุ้น thirst Center มีดังต่อไปนี้ 1. ) เมื่อความเข้มข้นของเลือดสูงขึ้น (osmolarity สูงขึ้น) จะไปกระตุ้น Osmoreceptor ที่บริเวณ preoptic nucleus ในสมองส่วนไฮโปทาลามัส มีผลให้เกิดการกระตุ้น thirst center และเกิดการกระหายน้ำตามมา

2. ) เมื่อปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์และความดันเลือดลดลง การกระตุ้น thirst center ของกลไกนี้จะไม่เกี่ยวกับการเพิ่มความเข้มข้นของเลือด เช่นในภาวะที่เสียเลือดมากทำให้ปริมาตรและความดันเลือดลดลง แต่ความเข้มข้นของเลือดไม่เปลี่ยนแปลง ภาวะดังกล่าวสามารถกระตุ้น thirst center ผ่านทาง arterial baroreceptors reflex และ cardiopulmonary reflexes

3. ) ภาวะปากแห้งและคอแห้ง (Dryness of the mouth and mucous membranes of the esophagus) กล่าวคือเมื่อปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์ลดลง แต่ความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลทำให้การหลั่งน้ำลายลดลง ทำให้เกิดภาวะปากแห้งและคอแห้งซึ่งจะมีผลไปกระตุ้น thirst center ทำให้เกิดการกระหายน้ำได้เช่นกัน

4. ) ฮอร์โมน angiotensin II การศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า angiotensin II สามารถแพร่ผ่าน blood-brain barrier และมีผลในการกระตุ้น thirst Center ได้โดยตรง

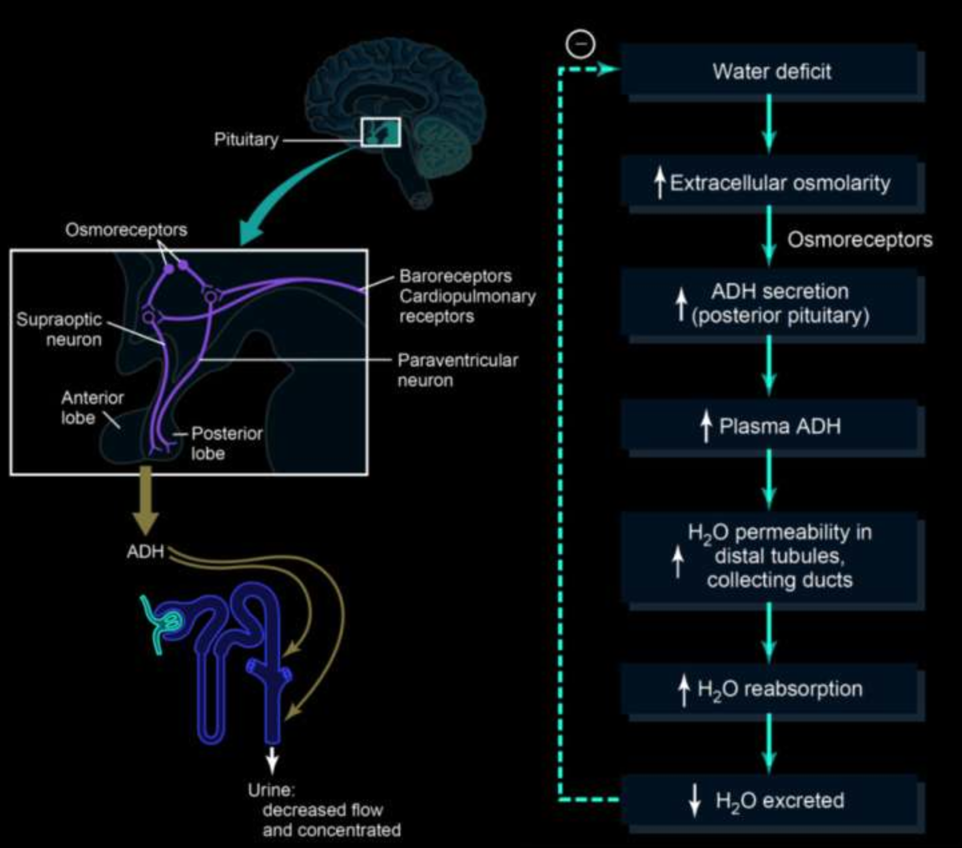
5. ) Gastric distention ช่วงแรกหลังจากการดื่มน้ำจะทำให้เกิดการยืดขยายของกระเพาะอาหารโดยที่ยังไม่มีการเปลี่ยนปริมาณและความเข้มข้นของของเหลวนอกเซลล์ การยืดขยายของกระเพาะอาหารนี้จะไปมีผลยับยั้ง thirst center ทำให้หยุดการกระหายน้ำได้เช่นกัน

**2.1.2 การควบคุมโดยกลไก Osmoreceptor-ADH feedback system**

Osmoreceptor-ADH feedback system เป็นกลไกในการควบคุมปริมาตรและความเข้มข้นของน้ำในร่างกาย กล่าวคือเมื่อร่างกายขาดน้ำและไม่ได้รับการดื่มน้ำทดแทน ทำให้ค่าออสโมลาริตีของ ECF สูงขึ้นจะไปกระตุ้น Osmoreceptor ในสมองส่วนไฮโปทาลามัสเกิดการถ่ายทอดสัญญาณประสาทไปยังเซลล์ใน supraoptic และ paraventricular nuclei จากนั้นส่งสัญญาณต่อไปยังต่อมใต้สมองส่วนหลังให้หลั่งฮอร์โมน ADH จากนั้นฮอร์โมน ADH จะขนส่งไปตามระบบไหลเวียนเลือดไปออกฤทธิ์ที่ท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมมีผลให้ท่อไตบริเวณดังกล่าวดูดน้ำกลับมากขึ้นทำให้น้ำปัสสาวะมีความเข้มข้นมากขึ้นและมีอัตราการไหลของน้ำปัสสาวะลดลง อย่างไรก็ตามกลไกดังกล่าวไม่ได้เป็นกลไกในการเพิ่มปริมาตรน้ำในร่างกาย แต่เป็นการลดการสูญเสียน้ำออกจากร่างกาย

การเพิ่มขึ้นของค่าออสโมลาริตีของ ECF เป็นปัจจัยหลักในกระกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน ADH แต่อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นที่สามารถกระตุ้นการหลั่งของฮอร์โมน ADH ได้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่นภาวะที่เสียเลือดจำนวนมาก ทำให้ปริมาตรและความดันเลือดลดลงแต่ความเข้มข้นของเลือดไม่เปลี่ยนแปลง จะสามารถกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน ADH ผ่านทาง arterial baroreceptors reflex และ cardiopulmonary reflexes นอกจากนี้ฮอร์โมนบางชนิดเช่น angiotensin II จะกระตุ้นการหลั่ง ADH ส่วน atrial natriuretic peptide (ANP) จะยับยั้งการหลั่ง ADH ความผิดปกติบางอย่าง เช่น ภาวะ hypoxia, รวมทั้งการได้รับสารหรือยาบางชนิด เช่น มอร์ฟีน นิโคติน

และไซโคลฟอสฟาไมด์ (cyclophosphamide) จะสามารถกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน ADH ได้ด้วย



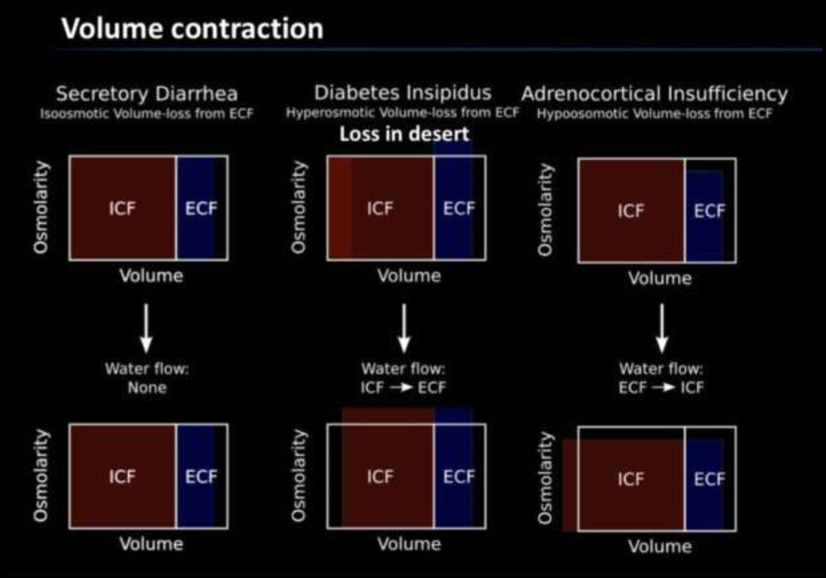

**2.3 ความผิดปกติของปริมาตรและความเข้มข้นของของเหลวนอกเซลล์**

ถ้าร่างกายเสียน้ำมากเกินปกติจะเกิดภาวะร่างกายขาดน้ำ (dehydration) ทำให้ปริมาตรของเหลวนอกเซลล์ลดลง (contraction) ส่งผลให้ของเหลวนอกเซลล์มีออสโมลาริที่เปลี่ยนแปลงได้ 3 แบบดังนี้

1. ) Isosmotic volume contraction เมื่อร่างกายสูญเสียน้ำในรูปแบบ isotonic solution เช่นภาวะ Secretory diarrhea ผู้ป่วยจะเสียน้ำและอิเล็กโทรไลต์จำนวนมากออกไปทางอุจาระ ซึ่งน้ำที่สูญเสียไปนั้นมีความเข้มข้นเท่ากับ ECF ทำให้ปริมาตรของ ECF ลดลง แต่ค่าออสโมลาริติไม่เปลี่ยนแปลงจึงไม่เกิดการออสโมซีสของน้ำระหว่าง ECF และ ICF

2. ) Hyperosmotic volume contraction เมื่อร่างกายสูญเสียน้ำในรูปแบบ hypotonic solution เช่น ภาวะขาดน้ำเนื่องจากเสียเหงื่อมากขณะอยู่ในทะเลทราย หรือขาดน้ำจากการปัสสาวะมากในผู้โรคเบาจืดน้ำที่สูญเสียไปนั้นมีความเข้มข้นน้อยกว่า ECF ทำให้ทำให้ปริมาตรของ ECF ลดลง แต่ค่าออสโมลาริที่เพิ่มขึ้นจึงมีผลให้น้ำออสโมซีสจาก ICE มาที่ ECE

3. ) Hypoosmotic volume contraction เมื่อร่างกายสูญเสียน้ำในรูปแบบ hypertonic Solution เช่น ในผู้ป่วยโรคต่อมหมวกไตหย่อนการทำงาน (adrenal insufficiency) ต่อมหมวกไตจะสร้างและหลั่งฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนได้น้อยลงมีผลให้โซเดียมและน้ำถูกขับออกทางปัสสาวะมากขึ้นปัสสาวะมีความเข้มข้นมากขึ้นและอัตราการไหลของน้ำปัสสาวะเพิ่มขึ้นซึ่งน้ำที่สูญเสียไปนั้นมีความเข้มข้นมากกว่า ECF ทำให้ปริมาตรและค่าออสโมลาริตีของ ECF ลดลงน้ำจึงออสโมซีสจาก ECF ไปที่ ICF

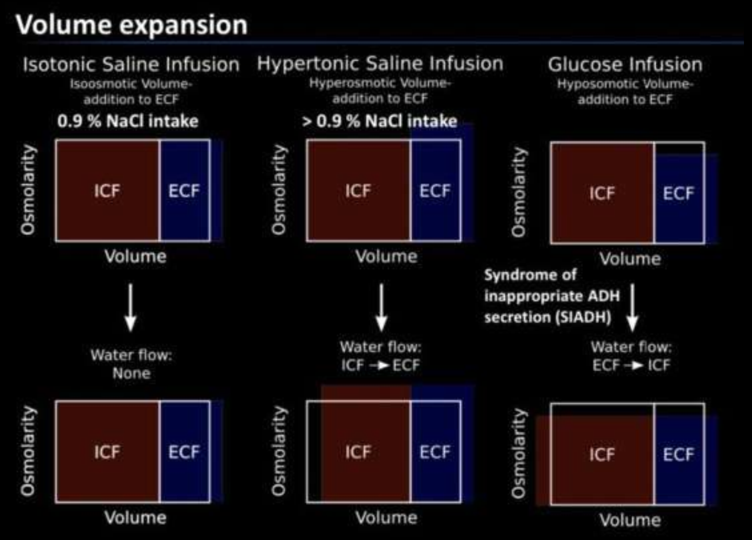



ในทำนองเดียวกันเมื่อร่างกายได้รับน้ำมากกว่าการขับน้ำออกแล้วมีปริมาตรของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้น (expansion หรือ overhydration) จะทำให้ของเหลวนอกเซลล์มีออสโมลาริตเปลี่ยนแปลงได้ 3 แบบดังนี้

1. ) Isosmotic volume expansion เมื่อร่างกายได้รับน้ำที่เป็น isotonic Solution เช่น การได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.9% ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับ ECF การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้เพิ่มปริมาตรของ ECF เพียงอย่างเดียว แต่ค่าออสโมลาริตีไม่เปลี่ยนแปลงจึงไม่เกิดการออสโมซีสของน้ำระหว่าง ECF และ ICF

2. ) Hyperosmotic volume expansion เมื่อร่างกายได้รับน้ำที่เป็น hypertonic Solution เช่นการได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นมากกว่า 0.9% ซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่า ECF การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้ปริมาตรและค่าออสโมลาริตีของ ECF เพิ่มขึ้นจึงทำให้น้ำออสโมซีสจาก ICE มาที่ ECF

3. ) Hypoosmotic volume expansion เมื่อร่างกายได้รับน้ำที่เป็น hypotonic solution เช่น การได้รับสารละลายกลูโคสทางหลอดเลือดดำซึ่งสารละลายมีความเข้มข้นน้อยกว่ากว่า ECF การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้ปริมาณของ ECF เพิ่มขึ้น แต่ค่าออสโมลาริตีของ ECF ลดลงจึงทำให้น้ำออสโมซีสจาก ECF มาที่ ICF หรือในคนไข้ที่มีภาวะ Syndrome of inappropriate ADH secretion (SIADH) จะให้เกิด hypoosmotic volume expansion ได้เช่นกัน




**3. สมดุลโซเดียม (Sodium balance)**

**3.1 บทบาทของโซเดียมในร่างกาย**

1. ) โซเดียมเป็นตัวสำคัญที่กำหนดออสโมลาริตและปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์ เพราะเป็นไอออนที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดในของเหลวนอกเซลล์และผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้น้อยจึงเป็นตัวที่ช่วยปรับแรง osmotic pressure และการกระจายตัวของน้ำในส่วนต่าง ๆ

2. ) โซเดียมมีบทบาทสำคัญในการเกิด neuromuscular excitability เนื่องจากเป็นไอออนที่มีความสำคัญในช่วงที่เกิด depolarization ของการเกิด action potential เซลล์ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

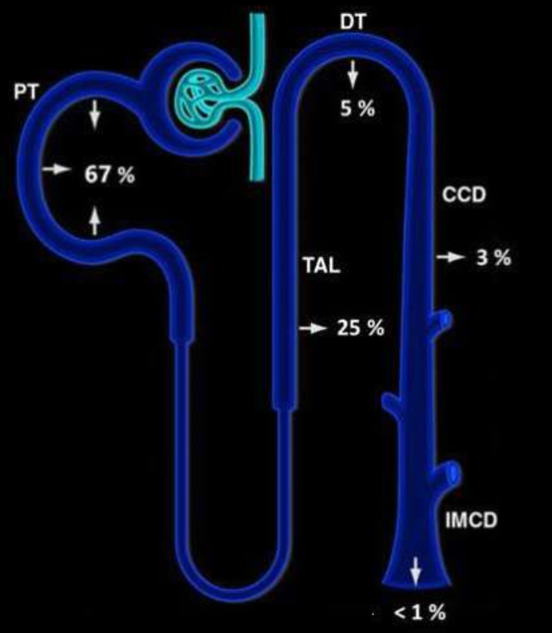
3. ) มีบทบาทเกี่ยวกับการดูดซึมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและกรดอะมิโน โดยการขนส่งน้ำตาลกลูโคสและกรดอะมิโนในระบบทางเดินอาหารและบริเวณท่อไต (sodium-glucose Cotransport และ Sodium-amino acid cotransport)

**3.2 ความสำคัญของสมดุลโซเดียม**

โดยปกติคนทั่วไปกินอาหารที่มีโซเดียมเป็นส่วนประกอบประมาณวันละ 100-155 mEq (milliosmole) สมมุติว่าวันนี้เรารับประทานอาหารที่มีโซเดียมเป็นส่วนประกอบ 155 mEq จะเกิดอะไรขึ้นถ้าหากไตไม่สามารถขับโซเดียมส่วนเกินออกทางปัสสาวะปกติความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาเท่ากับ 140 mEq/l (135-145 mEq/l) เนื่องจากโซเดียมสามารถแพร่ผ่านหลอดเลือดฝอยได้อย่างอิสระ จึงทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาและของเหลวที่ช่องระหว่างเซลล์มีค่าใกล้เคียงกัน จึงเปรียบเสมือนว่าความเข้มข้นของโซเดียมใน ECF มีค่า 140 mEq/l เช่นกัน ดังนั้นเมื่อเราเพิ่มโซเดียมเข้าไปในร่างกาย 155 mEq เราต้องกินน้ำเข้าไปเท่าไหร่จึงจะทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมใน ECF มีค่าเท่ากับ 140 mEq/l เหมือนเดิม

สรุปคือเราต้องดื่มน้ำเข้าไปประมาณ 1.1 ลิตรถึงจะทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมใน ECF มีค่าเป็นปกติ แต่หากเราไม่ได้ดื่มน้ำเพิ่มเข้าไปความเข้มขึ้นของโซเดียมใน ECF จะมีค่าสูงขึ้นทำให้ค่าออสโมลาริติใน ECF สูงขึ้น ตามน้ำจึงออสโมซีสจาก ICF มาที่ ECF แต่ในความเป็นจริงแล้วโซเดียมประมาณร้อยละ 95 ของโซเดียมที่กินเข้าไปจะถูกขับออกทางปัสสาวะส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 5 จะถูกขับออกทางอุจจาระและเหงื่อ ไตจึงเป็นอวัยวะที่สำคัญที่สุดในการควบคุมสมดุลโซเดียม กล่าวคือเมื่อกินอาหารที่มีโซเดียมเป็นส่วนประกอบน้อย ไตจะขับ

โซเดียมออกทางปัสสาวะลดลงทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมในปัสสาวะลดลงในทางตรงกันข้ามเมื่อร่างกายได้รับโซเดียมมาก ไตจะขับโซเดียมออกทางปัสสาวะมากขึ้นเช่นกัน แต่ความสามารถในการขับทิ้งโซเดียมสูงสุดของไตนั้นประมาณวันละ 1000 mEq ดังนั้นเมื่อเรากินอาหารที่มีส่วนประกอบของโซเดียมในปริมาณมากเกินที่ร่างกายจะขับทิ้งหมดในวันเดียว ร่างกายต้องใช้ระยะเวลาหลายวันในการขับทิ้งโซเดียมส่วนเกินออกไป ช่วงเวลาดังกล่าวจะเกิด positive Na balance (intake> excretion) ทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาสูงขึ้น ค่าออสโมลาริตีของพลาสมาสูงขึ้น ระบบการควบคุมสมดุลน้ำจะทำงานเพื่อควบคุมออสโมลาริตีให้เป็นปกติ โดยการกระตุ้นการกระหายน้ำและลดการขับน้ำออกทางปัสสาวะการสร้างน้ำปัสสาวะลดลงจึงจะทำให้ปริมาตรของพลาสมาเพิ่มขึ้นในทางตรงข้ามหากเกิด negative Na balance (intake <excretion) จะทำให้ปริมาตรของพลาสมาลดลงเช่นกัน ดังนั้นสมดุลโซเดียมจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการความคุมปริมาตรและความเข้มข้นของของเหลวนอกเซลล์




### 3.3 การความคุมสมดุลโซดียม

ในภาวะปกติอัตราการกรองที่ไต (glomerular filtration rate, GFR) มีค่าประมาณ 180 ลิตร/วันความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมา ($P_{Na}$) เท่ากับ 140 mEq/l ดังนั้นปริมาณของโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสทั้งหมดในหนึ่งวันเท่ากับ 25,200 mEq

เมื่อปริมาตรของปัสสาวะที่ขับออกประมาณวันละ 1.5 ลิตร ความเข้มข้นของโซเดียมในปัสสาวะประมาณ 100 mEq/l ดังนั้นปริมาณของโซเดียมที่ถูกขับออกทางปัสสาวะ ($U_{NA}$) เท่ากับ 150 mEq

ดังนั้นปริมาณของโซเดียมที่ถูกดูดกลับเท่ากับ 25,200-150 = 25,050 mEq หรือประมาณร้อยละ 99.4 ของปริมาณโซเดียมทั้งหมดที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัส โดยถูกดูดกลับที่ท่อไตส่วนต้นประมาณร้อยละ 67 ที่ท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นประมาณร้อยละ 25 และบริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมดูกกลับโซเดียมอีกประมาณร้อยละ 8 เหลือโซเดียมถูกขับออกทางปัสสาวะประมาณร้อยละ 0.6 (150 mEq) ถึงแม้ท่อไตส่วนส่วนปลายและท่อไตรวมจะดูดกลับโซเดียมน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับท่อไตส่วนอื่น แต่การดูดกลับโซดียมที่ต่อไตส่วนนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้

ดังนั้นท่อไตส่วนส่วนปลายและท่อไตรวมจึงมีความสำคัญในการรักษาสมดุลโซเดียมในร่างกาย

**3.3.1 การความคุมสมดุลโซดียมในภาวะ Euvolemia**

การรักษาสมดุลของโซเดียมในภาวะ Euvolemia สามารถอธิบายได้ 2 กลไกดังนี้

1. ) การควบคุมปริมาณของโซเดียมในน้ำกรองก่อนส่งไปยังบริเวณท่อไตส่วนปลายให้มีค่าคงที่กล่าวคือ ต้องควบคุมการดูดกลับของโซเดียมที่ท่อไตส่วนต้นให้ได้ประมาณร้อยละ 67 ของปริมาณโซเดียมทั้งหมดที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัส และที่ท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นให้ได้ประมาณร้อยละ 25 ให้เหลือปริมาณโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสประมาณร้อยละ 8 ส่งไปยังท่อไตส่วนปลาย ซึ่งการรักษาปริมาณของโซเดียมในน้ำกรองก่อนส่งไปยังท่อไตส่วนปลายให้มีค่าคงที่นั้นต้องอาศัยกลไกดังนี้

1.1) กลไกการควบคุมโดยตัวเองหรือ autoregulation เป็นกลไกในการควบคุมปริมาณเลือดที่ไหลมายังไตและ GFR ให้มีค่าคงที่เนื่องจากเมื่อค่า GFR คงที่ปริมาณโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอลูรัสก็จะคงที่ แต่หากค่า GFR ลดลงปริมาณโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอลูรัสก็จะลดลงเช่นกัน

1.2) Glomerulotubular balance คือ ความสมดุลระหว่าง GFR และปริมาณของโซเดียมที่ถูกดูดกลับบริเวณท่อไตส่วนต้น ยกตัวอย่างเช่น เมื่อค่า GFR เพิ่มขึ้นบริเวณท่อไตส่วนต้นจะมีดูดกลับโซดียมมากขึ้นเช่นกัน

1.3) ความสามารถในดูดกลับโซเดียมของท่อไตรูปตัวยูขาขึ้น คือ เมื่อมีปริมาณโซเดียมในน้ำกรองสูงขึ้น อัตราการดูดกลับโซเดียมบริเวณท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2. ) การควบคุมการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม เมื่อปริมาณของโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสถูกส่งมาบริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมมีค่าคงที่ อัตราการดูกกลับโซเดียมบริเวณท่อไตส่วนนี้จะถูกควบคุมโดยฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน กล่าวคือ เมื่อระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนสูงจะมีการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนนี้เพิ่มขึ้น ทำให้มีการขับทิ้งโซเดียมทางปัสสาวะลดลง ในทางตรงข้ามเมื่อระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนต่ำการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนนี้จะลดลง ทำให้มีการขับทิ้งโซเดียมทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น ถึงแม้ร่างกายจะมีกลไกในการควบคุมสมดุลโซเดียมในภาวะ Euvolemia แต่หากร่างกายมีโซเดียมเกินในปริมาณมากจะทำให้เกิดภาวะ volume expansion ตามมาหรือในทางตรงข้ามหากร่างกายขาดโซเดียมในปริมาณมากก็จะสามารถทำให้เกิดภาวะ volume contraction ได้เช่นกันดังนั้นร่างกายจึงมีการควบคุมสมดุลโซเดียมในภาวะที่มี Volume expansion และ volume Contraction ดังนี้

**3.3.2 การความคุมสมดุลโซดียมในภาวะ Volume expansion**

การรักษาสมดุลของโซเดียมในภาวะ volume expansion สามารถอธิบายได้ 3 กลไกดังนี้

1. ) การเพิ่ม GFR เมื่อ GFR เพิ่มจะทำให้โซเดียมถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสมากขึ้น ทำให้เพิ่มการขับทิ้งโซเดียมทางปัสสาวะ ภาวะ volume expansion จะทำให้ GFR สูงขึ้นเนื่องจากปัจจัยดังต่อไปนี้

1.1) การลดลงของระบบประสาทซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงไต ภาวะ volume expansion จะกระตุ้น baroreceptors reflex และ cardiopulmonary reflexes มีผลลดการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้หลอดเลือด afferent arteriole คลายตัวส่งผลให้ glomerular capillary hydrostatic และ GFR เพิ่มขึ้น

1.2) ภาวะ volume expansion จะกระตุ้นการหลั่ง natriuretic peptide เช่น atrial natriuretic peptide (ANP), brain natriuretic peptide (BNP) และ uroditatin โดย natriuretic peptide เหล่านี้จะกระตุ้นให้ afferent arteriole คลายตัวพร้อมทั้งกระตุ้นให้ efferent arteriole หดตัวจึงทำให้ค่า GFR เพิ่มขึ้น

2. ) ลดการดูดกลับโซเดียมบริเวณท่อได้ส่วนต้นและท่อไตรูปตัวยูขาขึ้น ในภาวะ volume expansion ที่ท่อไตส่วนต้นและท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นจะดูดกลับโซเดียมน้อยลง อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยดังต่อไปนี้ 2.1) การลดการ

ทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงไต เนื่องจากการกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกมีฤทธิ์เพิ่มการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนต้นและท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นได้โดยตรง

2.2) การลดลงของ angiotensin II ในภาวะ volume expansion จะยับยั้งการหลั่ง renin จึงทำให้ angiotensin II ลดลงซึ่ง angiotensin II จะมีฤทธิ์กระตุ้นการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนต้น

2.3) ภาวะ volume expansion จะทำให้หลอดเลือด peritubular capillary มีแรงดัน hydrostatic pressure เพิ่มขึ้น แต่มีแรงดัน colloid osmotic pressure ลดลงจึงทำให้บริเวณท่อไตส่วนต้นดูดกลับน้ำและโซเดียมลดลง

3. ) ลดการดูดกลับโซเดียมบริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม ผลที่เกิดจากข้อ 1 และ 2 จะทำให้มีปริมาณโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสผ่านมาที่บริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมมากขึ้น และในภาวะ volume expansion ที่ท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมจะดูดกลับโซเดียมลดลง จึงทำให้โซเดียมถูกขับทิ้งทางปัสสาวะมากขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยดังต่อไปนี้

3.1) การลดลงของฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน ภาวะ volume expansion จะยับยั้งการหลั่ง Renin ทำให้ระดับ angiotensin II และอัลโดสเตอโรนลดลงส่งผลให้บริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมดูดกลับโซเดียมน้อยลง

3.2) ผลจากการกระตุ้นการหลั่ง natriuretic peptide เนื่องจาก natriuretic peptide มีฤทธิ์ยับยั้งการดูดกลับของโซเดียมที่ท่อไตรวม

**3.3.3 การความคุมสมดุลโซดียมในภาวะ Volume contraction**

การรักษาสมดุลของโซเดียมในภาวะ volume Contraction จะมีการชดเชยตรงข้ามกับการเกิด volume expansion โดยสามารถอธิบายได้ 3 กลไกดังนี้

1. ) การลด GFR เนื่องจากการเพิ่มการการทำงานของระบบประสารทซิมพาเทติกทำให้หลอดเลือด afferent และ efferent arteriole หดตัวโดยผลจะเกิดที่ aferent arteriole มากกว่าจึงทำให้ค่า glomerular capillary hydrostatic และ GFR ลดลง

2. ) เพิ่มการดูดกลับโซเดียมบริเวณท่อไตส่วนต้นและท่อไตรูปตัวยูขาขึ้น

2.1) การเพิ่มการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงไตเนื่องจากการกระตุ้นระบบประสาทซิมมพาเทติกจะมีผลเพิ่มการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนต้นและท่อไตรูปตัวยูขาขึ้น

2.2) การเพิ่มขึ้นของ angiotensin II เนื่องจาก angiotensin II จะมีฤทธิ์กระตุ้นการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไตส่วนต้น

2.3) หลอดเลือด peritubular capillary มีแรงดัน hydrostatic pressure ลดลง แต่มีแรงดัน Colloid Osmotic pressure เพิ่มขึ้นจึงทำให้บริเวณท่อไตส่วนต้นดูดกลับน้ำและโซเดียมเพิ่มขึ้น

3. ) เพิ่มการดูดกลับโซเดียมบริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม ผลที่เกิดจากข้อ 1 และ 2 จะทำให้มีปริมาณโซเดียมที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัส ผ่านมาที่บริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมน้อยลง และในภาวะ volume Contraction ที่ท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมจะดูดกลับโซเดียมเพิ่มขึ้น จึงทำให้โซเดียมถูกขับทิ้งทางปัสสาวะน้อยลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากปัจจัยดังต่อไปนี้

3.1) การหลั่งฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากภาวะ volume contraction จะกระตุ้นการหลั่ง renin จึงทำให้ระดับ angiotensin II และอัลโดสเตอโรนสูงขึ้น ส่งผลให้บริเวณท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมดูตกลับโซเดียมเพิ่มขึ้น

3.2) การลดลงของระดับ natriuretic peptide เนื่องจาก natriuretic peptide มีฤทธิ์ยับยั้งการดูดกลับของโซเดียมที่ท่อไตรวมและในภาวะ Volume Contraction จะยับยั้งการหลั่งของ natriuretic peptide

**4. สมดุลกรด-ด่างในร่างกาย (Acid-Base balance)**

การรักษาสมดุลกรด-ด่างในร่างกายสามารถทำได้โดยการควบคุมความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ($[H^+]$) ในของเหลวนอกเซลล์หรือพลาสมาให้คงที่ กล่าวคือ ร่างกายจะต้องรักษาสมดุลระหว่างไฮโดรเจนไอออนที่ร่างกายได้รับเข้าไปรวมทั้งไฮโดรเจนไอออนที่ร่างกายสร้างขึ้นเองให้มีค่าเท่ากับปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับทิ้งจากร่างกายทั้งนี้เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างมีความสำคัญต่อการทำงานของเอ็นไซม์และปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ดังนั้นร่างกายจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมสมดุลกรด-ด่างให้มีค่าคงที่ ในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงกลไกการักษาสมดุลกรด-ด่างในร่างกาย ได้แก่ ระบบบัฟเฟอร์ในร่างกาย การรักษาสมดุลกรด-ด่างโดยระบบหายใจ การรักษาสมดุลกรด-ด่างโดยไต และความผิดปกติของสมดุลกรดด่างที่เกิดขึ้นในร่างกาย

**4.1 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในเลือด**

ในภาวะปกติระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในพลาสมามีค่าประมาณ 0.00004 mEq/l (40 nEq/l) ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับไอออนตัวอื่น เช่น ค่าความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมามีค่าเท่ากับ 142 mEq/l และมากกว่าค่าเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนประมาณ 3.5 ล้านเท่า ภาวะปกตินั้นระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนจะเปลี่ยนแปลี่ยงในช่วง 3-5 nEq/l เท่านั้น แต่ในภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนอย่างรุนแรง เช่น ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์น้อยกว่า 10 nEq/l หรือมากกว่า 160 nEq/l จะทำให้เซลล์ทำงานผิดปกติและเสียชีวิตได้

เนื่องจากค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในพลาสมามีค่าน้อยมาก จึงทำให้การวัดจำนวนของไฮโดรเจนไอออนในพลาสมานั้นทำได้ยาก ดังนั้นจึงนิยมใช้ค่า pH แทนความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ค่า pH จะสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นที่แท้จริงของไฮโดรเจนไอออน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$pH = -\log [H^+]$$

ยกตัวอย่างในภาวะปกติระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมีค่าเท่ากับ 40 nEq/l หรือ 0.00000004 Eq/l เมื่อแทนค่าในสูตรจะได้

$$pH = -\log [H^+]$$

$$pH = -\log (0.00000004)$$

$$pH = 7.4$$

จากสมการดังกล่าวจะพบว่าค่า pH จะแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน กล่าวคือ เมื่อค่า pH ลดลงแสดงว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนสูงขึ้น และในทางตรงข้ามเมื่อค่า pH สูงขึ้น แสดงว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนลดลง

**4.2 การควบคุมสมดุลกรด-ด่างในร่างกาย**

การควบคุมสมดุลกรด-ด่างในร่างกายมีหลักการคือ การควบคุมกรดหรือด่างที่ร่างกายได้รับต้องเท่ากับการกำจัดออกจากร่างกาย ในแต่ละวันร่างกายจะได้รับกรดโดยตรงจากอาหารหรือกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาผลาญอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ซึ่งจัดเป็นกรดที่ระเหยได้ (volatile acid) จากนั้นคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกำจัดออกจากร่ายกายโดยใช้ระบบหายใจในภาวะปกติ คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกำจัดออกจากร่างกายได้หมดโดยการหายใจ ดังนั้นกรดที่ระเหยได้จึงไม่รบกวนสมดุลกรด-ด่างของร่างกาย ส่วนการเผาผลาญอาหารประเภทโปรตีนจะเกิดกรดที่ระเหยไม่ได้

(nonvolatile acid) เช่น กรดซัลฟิวริค ($H_2SO_4$) และกรดฟอสฟอริค ($HPO_4^{2-}$) รวมทั้งกรดแลคติกที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญแบบไม่สมบูรณ์ของคาร์โบไฮเดรต โดยกรดที่ไม่สามารถระเหยได้เหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากร่างกายทางไต

นอกจากการได้รับกรดเข้าสู่ร่างกายแล้วเรายังสามารถรับด่างเข้าสู่ร่างกายได้เช่นกัน การเผาผลาญสารอาหารบางชนิดเช่นกลูตาเมต (glutamate) จะได้ไบคาร์บอเนต ($HCO_3^-$) หรืออาจมีการสูญเสียกรดหรือด่างออกร่างกาย เช่น การอาเจียนจะทำให้เสียกรดส่วนอาการท้องร่วงจะทำให้เกิดการสูญเสียด่างออกจากร่างกาย จะเห็นได้ว่าภาวะกรดและด่างในร่างกายจะถูกรบกวนอยู่ตลอดเวลา ร่ายกายจึงต้องมีกลไกเพื่อรักษาความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนและ pH ในเลือดไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปจากค่าปกติ โดยอาศัยการทำงานของกลไกต่อไปนี้ 1) ระบบบัฟเฟอร์ในร่างกาย 2) การทำงานของระบบหายใจ 3. ) การทำงานของระบบไต

**4.2.1 ระบบบัฟเฟอร์ในร่างกาย (buffer system of the body fluid)**

บัฟเฟอร์ (buffer) หมายถึง สารละลายของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน หรือหมายถึงสารละลายของด่างอ่อนกับเกลือของต่างอ่อน คุณสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ คือ สามารถต้านการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายเมื่อมีการเติมกรดแก่หรือเบสแก่เข้าไปในสารละลายดังกล่าว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนภายร่างกายบัฟเฟอร์จะเป็นกลไกแรกในการต้านการเปลี่ยนแปลงของ pH การทำงานของบัฟเฟอร์นั้นเป็นเพียงการเปลี่ยนจากกรดอิสระหรือไฮโดรเจนไอออนให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ของร่างกายเท่านั้น แต่จะไม่ได้กำจัดกรดออกจากร่างกายหรือเพิ่มกรดเข้าสู่ร่างกายแต่อย่างใด โดยรูปแบบทั่วไปของปฏิกิริยาบัฟเฟอร์ (buffering reaction) จะอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$\text{Buffer} + H^+ \qquad \text{H Buffer}$$

กล่าวคือไฮโดรเจนไอออนอิสระจะจับกับบัฟเฟอร์แล้วอยู่ในรูปกรดอ่อน (H Buffer) ในขณะเดียวกันกรดอ่อนก็สามารถแยกตัวกลับมาเป็นไฮโดรเจนไอออนอิสระและบัฟเฟอร์ได้เช่นกันยกตัวอย่างเช่นเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้นจากระดับปกติจะทำให้สมการเลื่อนไปทางขวา (shift right) ไฮโดรเจนไอออนจะจับกับบัฟเฟอร์ไปเรื่อย ๆ ตราบใดที่บัฟเฟอร์ยังสามารถใช้งานได้ ในทางตรงกันข้ามเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนลดลงสมการจะเลื่อนไปทางซ้าย (shift left) กรดอ่อนจะแตกตัวได้เป็นไฮโดรเจนไอออนและบัฟเฟอร์ จากกลไกดังกล่าวบัฟเฟอร์จึงสามารถต้านการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไฮโดรเจนไอออนในของเหลวของร่างกายได้

ดังนั้นระบัฟเฟอร์ในร่างกายมีความสำคัญต่อการรักษาระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของของเหลวในร่างกายให้อยู่ในช่วงปกติ ไม่ว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ตาม ยกตัวอย่างเช่น ในวันหนึ่งร่ายกายจะได้รับไฮโดรเจนไอออนทั้งจากอาหารที่กินเข้าไปและที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายรวมกันประมาณ 80 mEq โดยที่ค่าปกติของความเข้มข้นไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์มีค่าประมาณ 0.00004 mEq/L ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างมากหากไม่มีการทำงานของระบบบัฟเฟอร์ ในร่างกายของเรามีระบบบัฟเฟอร์ที่ทำหน้าที่ต้านการเปลี่ยนแปลงของ pH ที่สำคัญ 4 ชนิดดังนี้

1.1 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer) ฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีบทบาทสำคัญในการควบคุม pH ภายในเซลล์ทั้งนี้เนื่องจากฟอสเฟตมีปริมาณมากในของเหลวในเซลล์ นอกจากนี้ฟอสเฟตยังเป็นสารที่ถูกกรองโดยไตและถูกดูดกลับประมาณร้อยละ 90 ของฟอสเฟตที่ถูกกรองทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 10 จะถูกขับทิ้งมากับน้ำปัสสาวะจึงทำให้น้ำปัสสาวะมีความเข้มข้นของฟอสเฟตค่อนข้างสูง ดังนั้นฟอสเฟตจึงเป็นบัฟเฟอร์ที่สำคัญในน้ำปัสสาวะอีกด้วย

1.2 โปรตีนบัฟเฟอร์ (Protein buffer) เป็นบัฟเฟอร์ที่มีปริมาณมากที่สุด เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นกับบัฟเฟอร์ชนิดอื่นในของเหลวทั่วร่างกายจะพบว่าโปรตีนมีความเข้มมากที่สุด โดยเฉพาะที่ของเหลวในเซลล์

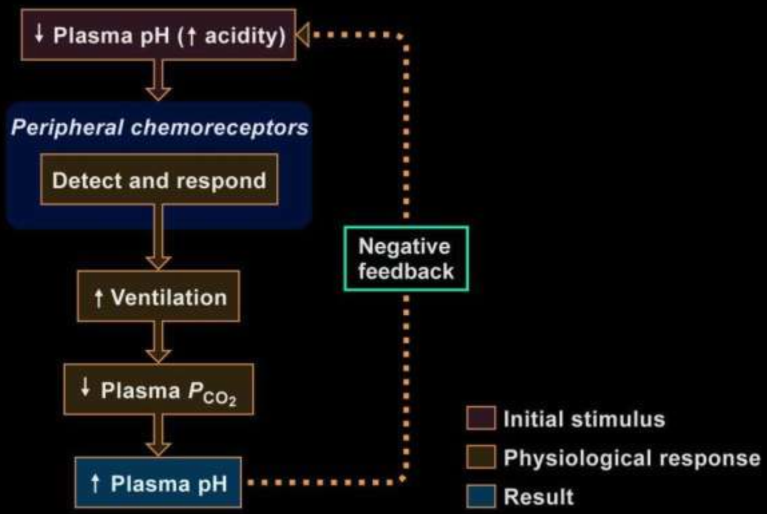
1.3 ฮีโมโกลบินบัฟเฟอร์ (Hemoglobin buffer) เป็นบัฟเฟอร์ที่สำคัญในการต้านการเปลี่ยนแปลง pH ภายในเซลล์ของเม็ดเลือดแดง โดยฮีโมโกลบินบัฟเฟอร์จะต้านการลดลงของ pH ที่เกิดจากกรดชนิดระเหยได้โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์

1.4 ไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ (Bicarbonate buffer) เป็นบัฟเฟอร์ที่สำคัญที่สุดในการต้านการเปลี่ยนแปลงของ pH ที่ของเหลวนอกเซลล์ (extracellular fluid) ภาวะปกติความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในพลาสมาจะมีค่าประมาณ 23 – 25 mEq/L และปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์ประมาณ 14 ลิตร (ร้อยละ 60 ของน้ำหนัก 70 กิโลกรัม) ดังนั้นในของเหลวนอกเซลล์จะสามารถบัฟเฟอร์ไฮโดนเจนไอออนได้ประมาณ 350 mEq ไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์จะแตกต่างจากบัฟเฟอร์ชนิดอื่นเนื่องจากไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์สามารถทำงานเชื่อมกับการทำงานของอีก 2 ระบบที่ควบคุมสมดุลกรดด่างคือระบบหายใจและระบบไต

ในภาวะปกติค่าความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในเลือดเท่ากับ 24 mEq/L และค่าความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดเท่ากับ 40 mmHg เมื่อค่าความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในเลือดเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า pH ในเลือดสูงขึ้น (alkalosis) ขณะที่การเพิ่มขึ้นของความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดจะทำให้ pH ในเลือดลดลง (acidosis)

**4.2.2 การควบคุมสมดุลกรด-ด่างโดยระบบหายใจ (Respiratory regulation of acid-base balance)**

ระบบหายใจเป็นกลไกลำดับที่สองในการต้านการเปลี่ยนเปลี่ยนของระดับ pH ในร่างกาย เนื่องจากระบบหายใจจะทำหน้าที่ควบคุมความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในของเหลวนอกเซลล์ กล่าวคือ เมื่ออัตราเร็วของการหายใจเพิ่มขึ้นจะเพิ่มการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดลดลง จากผลดังกล่าวจึงทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนลดลง ในทางตรงข้ามเมื่ออัตราการหายใจลดลง จะทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจนั้นมีผลต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์ ดังนั้นร่างกายจึงอาศัยระบบหายใจเป็นกลไกในการควบคุมระดับ pH ในเลือดโดยการปรับเปลี่ยนการหายใจ ยกตัวอย่างเช่น ในภาวะที่ร่างกายอยู่ภาวะกรด (acidosis, pH <7.35) จะกระตุ้นการทำงานของตัวรับทางเคมี (peripheral chemoreceptor) ทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเพิ่มการขับทิ้งคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกายจึงทำให้ค่า pH สูงขึ้น

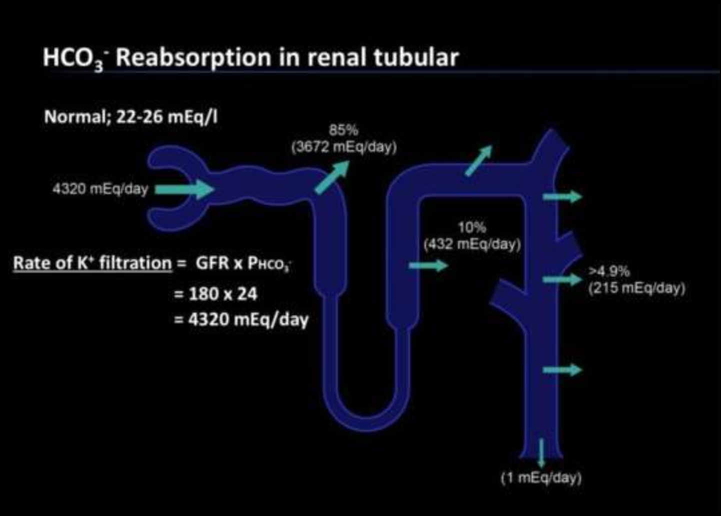



**4.2.3 การควบคุมสมดุลกรด-ด่างโดยระบบไต (Renal regulation of acid-base balance)**

การควบคุมสมดุลกรด-ด่างโดยระบบไตจะใช้เวลานานมากกว่าระบบบัฟเฟอร์และระบบหายใจ แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า ไตจะทำหน้าที่ควบคุมระดับ pH ในเลือดโดยการขับกรด ($H^+$) หรือด่าง ($HCO_3^-$) ส่วนเกินออกจากร่างกายทางปัสสาวะ เนื่องจากในภาวะปกติร่างกายจะสร้างกรดที่ไม่สามารถระเหยได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนวันละประมาณ 80 mEq ซึ่งกรดดังกล่าวไม่สามรถขับออกจากร่างกายโดยระบบหายใจ ไตจึงจำเป็นต้องขับกรดส่วนเกินดังกล่าวออกจากร่างกายทางปัสสาวะ การทำงานของไตในการรักษาสมดุลกรด-ด่างอาศัยกลไกดังต่อไปนี้

**4.2.3.1 การขับออก $H^+$ และการดูดกลับ $HCO_3^-$ โดยท่อไต**

การดูดกลับไบคาร์บอเนตจะเกิดขึ้นตลอดช่วงของท่อไต ยกเว้นที่ท่อไต่ส่วน descending limbs และ thin ascending limbs ของท่อไตรูปตัวยูจะไม่พบการดูดกลับไบคาร์บอเนต ในภาวะปกติความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในเลือดมีค่าประมาณ 24 mEq/L และอัตราการกรองประมาณ 180 L/day ดังนั้นปริมาณของไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสทั้งหมดจะเท่ากับ 4,320 mEq/day (24 x 180) พบว่าประมาณร้อยละ 80-90 ของไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสทั้งหมดจะถูกดูดกลับที่ท่อไตส่วนต้น ถูกดูดกลับที่ thick ascending limb ของท่อไตรูปตัวยูอีกประมาณร้อยละ 10 และและไบคาร์บอเนตที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 4.99 จะถูกดูดกลับที่ท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม จึงทำให้ไบคาร์บอเนตถูกขับทิ้งทางปัสสาวะน้อยมากหรืออาจไม่พบไบคาร์บอเนตเหลือออกมากับน้ำปัสสาวะเลย

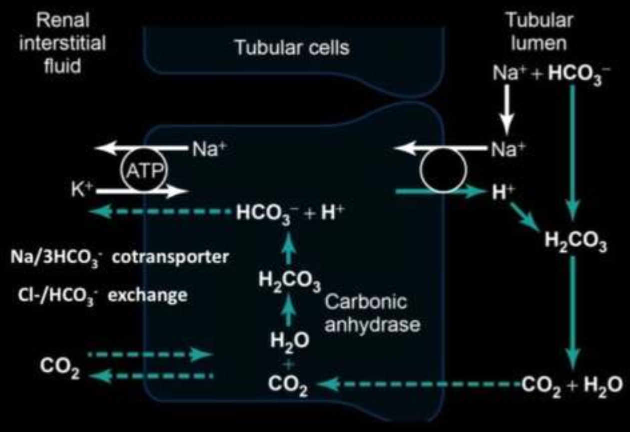



**1. ) การขับออกของ $H^+$ และการดูดกลับ $HCO_3^-$ บริเวณท่อไตส่วนส่วนต้นส่วน thick ascending limbs ของท่อไตรูปตัวยูและส่วนต้นของท่อไตส่วนปลาย**

อีพิธีเลียมเซลล์ของท่อไตส่วนต้นส่วน thick ascending limbs ของท่อไตรูปตัวยูและส่วนต้นของท่อไตส่วนปลายสามารถขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพรงท่อไตได้โดยใช้กระบวนการ $Na^+$ -$H^+$ counter-transport ซึ่งกระบวนการขนส่งดังกล่าวเป็นการขนส่งในรูปแบบ secondary active transport โดยโซเดียมจะเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ตาม Concentration gradient เมื่อโซเดียมเคลื่อนที่เข้าในเซลล์จะสนับสนุนให้ไฮโดรเจนหลั่งออกนอกเซลล์ต้าน concentration gradient และกระบวนการขน $Na^+$ -$H^+$ counter-transport จะเกิดขึ้นได้ต้องพึ่งพาการทำงานของ $Na^+$ $K^+$ ATPase pump ทางฝั่ง basolateral membrane เพื่อทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมในเซลล์น้อยกว่าในน้ำกรอง จึงทำให้โซเดียมในน้ำกรองเคลื่อนที่เข้าเซลล์ตามแรง Concentration gradient อย่างก็ตามในภาวะปกตินั้นไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตด้วยกระบวนการ $Na^+$ $H^+$ exchanger จะไม่ถูกขับทิ้งออกทางปัสสาวะ แต่ไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตในส่วนดังกล่าวจะช่วยในกระบวนการดูดกลับไบคาร์บอเนตเนื่องจากไบคาร์บอเนตไม่สามารถดูดกลับเข้าสู่กระแสเลือดโดยตรงได้ โดยที่ไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสจะถูกดูดกลับเข้าสู่เซลล์ท่อไตด้วยกระบวนการพิเศษ กล่าวคือ ไบคาร์บอเนตจะจับกับไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตได้เป็นกรดคาร์บอนิก ($H_2CO_3$) แล้วเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรสที่อยู่ผิวเซลล์จะเปลี่ยนกรดคาร์บอนิกเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำแล้วจึงเกิดแพร่เข้าสู่เซลล์ท่อไตอย่างรวดเร็วต่อไป เมื่อเข้าสู่เซลล์ท่อไตคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอนิกอย่างรวดเร็วโดยเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรสที่อยู่ในเซลล์ จากนั้นกรดคาร์บอนิกจะแตกตัวเป็นไบคาร์บอเนตและไฮโดรเจนไอออน โดยไบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ทางฝั่ง basolateral membrane เข้าสู่กระแสเลือดโดยกระบวนการ $Na^+$-3$HCO_3^-$ cotransport หรือ $Cl^-$-$HCO_3^-$ Counter-transport ต่อไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อเกิดการขับออกไฮโดรเจนไอออนออกจากเซลล์ท่อไตเข้าสู่โพรงท่อไต จะมีผลทำให้เกิดการดูดกลับไบคาร์บอเนตเข้าสู่กระแสเลือด

แม้ว่าเซลล์ท่อไตส่วนต้นส่วน thick ascending limbs ของท่อไตรูปตัวยูและส่วนต้นของท่อไตส่วนปลายจะเกิดการขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพรงท่อไตด้วยวิธี $Na^+$-$H^+$ counter-transport ก็ตาม แต่ไฮโดรเจนไอออนไม่ได้ถูกขับทิ้งออกจากร่างกาย แต่อย่างใดการขับออกไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์ดังกล่าวเป็นเพียงกระบวนการเพื่อช่วยในการดูดกลับไบคาร์บอเนตเท่านั้น นอกจากนี้การดูดกลับไบคาร์บอเนตที่ท่อไตยังต้องอาศัย

การทำงานของเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส ดังนั้นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรสจะขัดขวางการดูดกลับไบคาร์บอเนตที่ท่อไตด้วย

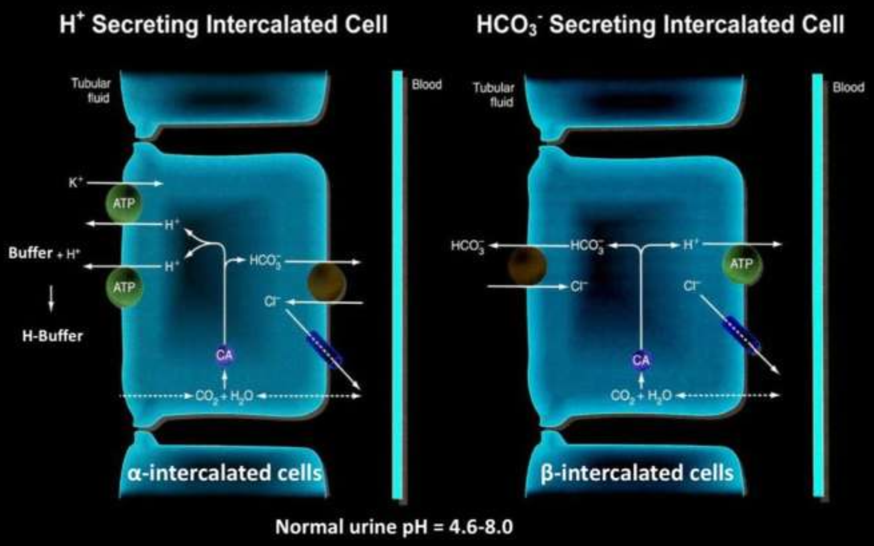



**Proximal tubule, thick ascending loop of Henle and early of distal tubule**

**2. ) การขับออกของ H * และการดูดกลับ HCO, ที่ส่วนท้ายของท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม**

ไบคาร์บอเนตที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 5 ของไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสทั้งหมดจะถูกดูดกลับที่ส่วนท้ายของท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวม ซึ่งเป็นส่วนสุดท้ายในการดูดกลับไบคาร์บอเนตเพื่อป้องกันการสูญเสียไปกับปัสสาวะ กระบวนการดูดกลับไบคาร์บอเนตที่ท่อไตส่วนนี้จะคล้ายกับบริเวณท่อไตส่วนต้น แต่การขับออกไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์เข้าสู่โพรงท่อไตจะแตกต่างกัน กล่าวคือ บริเวณส่วนท้ายของท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมจะมีเซลล์ชนิด alpha intercalated cells ทำหน้าที่ขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพงท่อไตเพื่อใช้ในการดูดกลับไบคาร์บอเนตนั้น เป็นการขนส่งแบบ $H^+$-ATPase pump หรือ $H^+$-$K^+$ ATPase pump ซึ่งเป็นการขนส่งสารด้วยวิธี primary active transport ส่วนการขนส่งไบคาร์บอเนตออกจากเซลล์ท่อไตเข้าสู่กระแสเลือดทางฝั่ง basolateral membrane จะขนส่งโดยวิธี $Cl^-$-$HCO_3^-$ Counter-transport

การขับออกไฮโดรเจนไอออนจาก alpha intercalated cells ที่บริเวณส่วนท้ายของท่อไตส่วนปลายและบริเวณท่อไตรวมจะมีจำนวนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับท่อไตส่วนต้น (ประมาณร้อยละ 5 ของไฮโดรเจนที่ขับออกจากเซลล์ท่อไตทั้งหมด) แต่การขับออกไฮโดรเจนไอออนที่ท่อไตส่วนนี้เป็นกลไกความสำคัญที่ทำให้ปัสสาวะเป็นกรด ถึงแม้ที่ท่อไตส่วนต้นจะมีการขับออกไฮโดรเจนไอออนจำนวนมากก็ตาม แต่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนสามารถเพิ่มได้เพียง 3-4 เท่า เท่านั้น เนื่องจากถูกบัฟเฟอร์โดยไบคาร์บอเนตในน้ำกรองจึงทำให้ค่า pH ในน้ำกรองลดลงประมาณ 6.7 เท่านั้น แต่ที่ท่อไตรวมการขับออกไฮโดรเจนไอออนแม้จะมีปริมาณน้อยมาก แต่สามารถเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำกรองได้ถึง 900 เท่าเนื่องจากมีไบคาร์บอเนตบริเวณท่อไตส่วนนี้ที่เหลืออยู่น้อยมากจึงทำให้ค่า pH ในน้ำกรองลดลงถึง 4.5 ซึ่งเป็นค่า pH ที่ต่ำที่สุดของปัสสาวะ




นอกจากนี้บริเวณส่วนท้ายของท่อไตส่วนปลายและบริเวณท่อไตรวมยังมีเซลล์ชนิด beta intercalated cells ทำหน้าขับออกไบคาร์บอเนตเข้าสู่โพรงท่อไต พร้อมกับการสร้างไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่กระแสเลือด กระบวนการขับออกไบคาร์บอเนตโดย beta intercalated cells จะเริ่มจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำถูกเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอนิกโดยเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรสที่อยู่ในเซลล์ จากนั้นกรดคาร์บอนิกจะแตกตัวเป็นไบคาร์บอเนตและไฮโดรเจนไอออนโดยไบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นจะถูกขับออกเข้าสู่โพรงท่อไตด้วยวิธี $Cl^-$-$HCO_3^-$ Counter-transport ส่วนไฮโดรเจนไอออนจะถูกขนส่งออกจากเซลล์เข้าสู่กระแสเลือดด้วยวิธี $H^+$ ATPase pump อย่างไรก็ตามกระบวนการขับออกไปคาร์บอเนตโดย beta intercalated cells จะไม่มีบทบาทมากนัก เนื่องจากภาวะปกติเลือดมีแนวโน้มจะเป็นกรดจากกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย แต่กระบวนการนี้จะมีความสำคัญในสภาวะที่ร่างกายมีด่างเกิน (blood pH> 7.45)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในสภาวะปกติอัตราการดูดกลับไบคาร์บอเนตบริเวณท่อไตจะมีค่าประมาณวันละ 4,320 mEq และการขับออกไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์ท่อไตเข้าสู่โพรงท่อไตมีค่าประมาณวันละ 4,400 mEq โดยที่ไฮโดรเจนไอออนที่เข้าสู่โพรงท่อไตประมาณ 4,320 mEq จะถูดกลับกลับพร้อมกับไบคาร์บอเนตในรูปคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำส่วนที่เหลืออีก 80 mEq คือไฮโดรเจนไอออนส่วนเกินที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย (กรดที่ระเหยไม่ได้, nonvolatile acid) จะถูกขับทิ้งกับปัสสาวะโดยที่การขับทิ้งไฮโดรเจนไอออนส่วนเกิดดังกล่าวจะไม่ถูกขับทิ้งในรูปไฮโดรเจนไอออนอิสระ แต่จะถูกจับโดยบัฟเฟอร์ชนิดอื่นที่อยู่ในน้ำกรอง ได้แก่ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์และแอมโมเนียบัฟเฟอร์ ส่วนในภาวะที่ร่างกายมีด่างเกินจำนวนไบคาร์บอเนตในน้ำกรองจะมากกว่าจำนวนไฮโดรเจนไอออน จึงทำให้ไบคาร์บอเนตถูกดูดกลับที่ท่อไตไม่หมดและไบคาร์บอเนตส่วนเกินจะถูกขับทิ้งออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ในทางตรงข้ามเมื่อร่างกายมีสภาวะกรดเกินจำนวนไฮโดรเจนไอออนในน้ำกรองจะมากกว่าจำนวนไบคาร์บอเนต จึงทำให้ไบคาร์บอเนตที่กรองผ่านโกลเมอรูลัสจะถูกดูดกลับทั้งหมดโดยไฮโดรเจนไอออนส่วนเกินจะถูกบัฟเฟอร์โดยฟอสเฟตและแอมโมเนียแล้วขับทิ้งทางปัสสาวะต่อไป

**4.2.3.2 การขับทิ้งไฮโดรเจนไอออนในรูปฟอสเฟตและแอมโมเนียบัฟเฟอร์แล้วสร้าง $HCO3^-$ ขึ้นมาใหม่**

จากที่กล่าวมาแล้วเมื่อจำนวนไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตมากกว่าจำนวนไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสเข้ามาในโพรงท่อไต จะทำให้ไฮโดรเจนไอออนส่วนเกินถูกขับทิ้งทางปัสสาวะ แต่จะมีไฮโดรเจนไอออนส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกขับทิ้งทางปัสสาวะในรูปไฮโตรเจนไอออนอิสระ เหตุผลเนื่องจากไตสร้างน้ำ

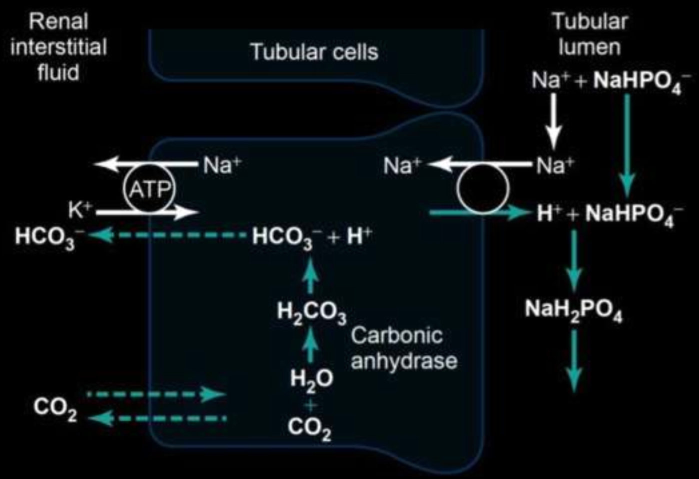
ปัสสาวะที่มีค่า pH ต่ำสุดเพียง 4.5 เท่านั้น หรือมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนอิสระในปัสสาวะได้ไม่เกิน 0.03 mEq/l ดังนั้นในทุก 1 ลิตรของน้ำปัสสาวะจะสามารถขับทิ้งไฮโดรเจนไอออนอิสระได้เพียง 0.03 mEq เท่านั้น แต่ร่างกายต้องขับไฮโดรเจนไอออนส่วนเกิน (กรดที่ระเหยไม่ได้, nonvolatile acid) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายประมาณวันละ 80 mEq หากต้องขับกรดส่วนเกินดังกล่าวทิ้งทางปัสสาวะในรูปของไฮโดรเจนไอออนอิสระ ไตจะต้องผลิตน้ำปัสสาวะประมาณวันละ 2,667 ลิตรเลยทีเดียว ในความเป็นจริงนั้นไตสามารถขับทิ้งของไฮโดรเจนไอออนได้มากกว่าวันละ 80 mEq ในบางสภาวะอาจสูงถึงวันละ 500 mEq โดยไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์เข้าสู่โพรงท่อไตจะถูกจับด้วยบัฟเฟอร์ในน้ำกรองซึ่งบัฟเฟอร์ที่สำคัญในน้ำกรอง ได้แก่ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์และแอมโมเนียบัฟเฟอร์นอกจากนี้ยังมีบัฟเฟอร์ชนิดอื่นอีก แต่ไม่มีความสำคัญมากนัก เช่น ยูเรตบัฟเฟอร์และซิเตรทบัฟเฟอร์

เมื่อไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตเข้าสู่โพรงท่อไตจับกับไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ ผลที่ได้คือจะมีการดูดกลับไบคาร์บอเนตจากโพรงท่อไตกลับเข้าสู่กระแสเลือดตามที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ แต่เมื่อไฮโดรเจนไอออนในโพรงท่อไตจับกับบัฟเฟอร์ชนิดอื่นที่ไม่ใช่ไบคาร์บอเนต ผลที่ได้คือ จะเกิดการสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่ขึ้นมาที่เซลล์ท่อไต แล้วไบคาร์บอเนตตัวใหม่ดังกล่าวจะถูกขนส่งเข้าสู่กระแสเลือดต่อไปดังนั้นเมื่อมีความเข้มเข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์สูงกว่าปกตินอกจากไตจะดูดกลับไบคาร์บอเนตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสให้หมดแล้ว ไตยังสามารถสร้างไบคาร์บอเนตขึ้นใหม่ได้ด้วย ด้วยเหตุนี้กลไกดังกล่าวจึงเป็นกลไกที่ช่วยชดเชยในภาวะที่ร่างกายมีกรดเกิน ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

**1. ) การสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่และการขับไฮโดรเจนไอออนทิ้งโดยฟอสเฟตบัฟเฟอร์**

เมื่อเซลล์ท่อไตสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่แต่ละครั้งจะมีการสร้างไฮโดรเจนไอออนขึ้นมาด้วยโดยไบคาร์บอเนตตัวใหม่ที่สร้างขึ้นมาจะถูกเติมเข้าสู่กระแสเลือดส่วนไฮโดรเจนไอออนที่สร้างขึ้นใหม่จะถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตไปจับกับฟอสเฟสบัฟเฟอร์ ($HPO_4^{2-}$) ในโพรงท่อไตได้เป็นกรดฟอสฟอริก ($H_2PO_4$) แล้วถูกขับทิ้งทางปัสสาวะในรูปของโมโนโซเดียมฟอสเฟต ($NaH_2PO_4$) เนื่องจากเราสามารถวัดหาปริมาณกรดฟอสฟอริกในปัสสาวะด้วยวิธีการไทเทรต (titration) จึงอาจเรียกการขับทิ้งไฮโดรเจนไอออนในรูปแบบนี้ว่ากรดไทเทรเทเบิล (titratable acid) อย่างไรก็ตามในสภาวะปกติปริมาณของฟอสเฟตที่ถูกกรองผ่านโกลเมอรูลัสมายังโพรงท่อไตจะมีค่าประมาณวันละ 30-40 mEg ซึ่งจะสามารถบัฟเฟอร์ไฮโดรเจนไอออนได้วันละ 30-40 mEq เท่านั้นดังนั้นหากเกิดภาวะกรดเกินในร่างกายแอมโมเนียบัฟเฟอร์จึงเป็นระบบบัฟเฟอร์ที่สำคัญที่ไตใช้ในการขับทิ้งกรดส่วนเกินออกจากร่างกาย

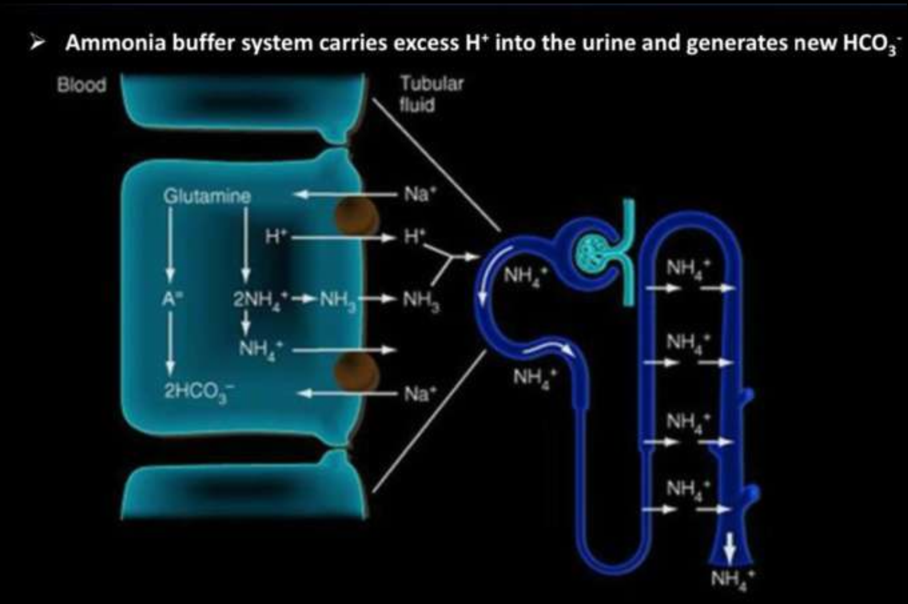
➤ **Phosphate buffer system carries excess $H^+$ into the urine and generates new $HCO_3^-$**




**2. ) การสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่และการขับไฮโดรเจนไอออนทิ้งโดยแอมโมเนียบัฟเฟอร์**

แอมโมเนียมไอออน ($NH_4^+$) ถูกสร้างจากกระบวนการเผาผลาญของกลูตามีน โดยเซลล์เอพิธีเลียมของท่อไตทุกส่วน โดยเฉพาะเซลล์เอพิธีเลียมของท่อไตส่วนต้น กลูตามีนเกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนในตับแล้วถูกขนส่งมายังเซลล์ท่อไต ในทุกหนึ่งโมเลกุลของกลูตามีนที่ถูกเผาผลาญแล้วสุดท้ายจะได้แอมโมเนียมสองโมเลกุล ($2NH_4^+$) และไบคาร์บอเนตสองโมเลกุล ($2HCO_3^-$) จากนั้นไบคาร์บอเนตที่สร้างขึ้นใหม่นี้จะถูกขนส่งออกจากเซลล์ท่อไตทางฝั่ง basolateral membrane และเติมเข้าสู่กระแสเลือดส่วนแอมโมเนียมจะถูกขับออกออกจากเซลล์เข้าโพรงท่อไตด้วยวิธี $Na^+$-$NH_4^+$ exchanger หรือแอมโมเนียมอาจแตกตัวเป็นแอมโมเนียและไฮโดรเจนไอออน ซึ่งแอมโมเนียจะแพร่จากเซลล์เข้าโพรงท่อไตได้โดยตรงส่วนไฮโดรเจนไอออนจะถูกขับออกสู่โพรงท่อไตด้วยวิธี $Na^+$ $H^+$ exchanger เมื่อเข้าสู่โพรงท่อไตแอมโมเนียจะจับกับไฮโดรเจนไอออนกลับเป็นแอมโมเนียมตามเดิมดังแสดง

แอมโมเนียมที่ถูกขับออกจากเซลล์ท่อไตส่วนต้นเข้าสู่โพรงท่อไตจะถูกดูดกลับบริเวณท่อไตรูปตัวยูขาขึ้นส่วนหนา แล้วถูกขนส่งออกจากเซลล์เข้าสู่เนื้อไตในเนื้อไต แอมโมเนียมบางส่วนจะแตกตัวเป็นแอมโมเนียและไฮโดรเจนไอออนจากนั้นแอมโมเนียม/แอมโมเนียและไฮโดรเจนไอออนในเนื้อไตจะถูกขนส่งเข้าเซลล์ท่อไตบริเวณท่อไตรวม เมื่อเข้าสู่เซลล์ท่อไตรวมแอมโมเนียมจะแตกตัวตัวแอมโมเนียและไฮโดรเจนไอออนทั้งหมดจากนั้นแอมโมเนียจะแพร่ออกจากเซลล์เข้าสู่โพรงท่อไตส่วนไฮโดรเจนไอออนจะถูกขับออกจาก alpha intercalated cell เข้าสู่โพรงท่อไตด้วยวิธี $H^+$ ATPase pump เมื่อเข้าสู่โพรงท่อไตแอมโมเนียจะรวมกับไฮโดรเจนไอออนกลายเป็นแอมโมเนียมแล้วถูกขับทิ้งทางปัสสาวะ จึงสรุปได้ว่า เมื่อมีการขับทิ้งแอมโมเนียมทางปัสสาวะหนึ่งโมเลกุลจะเกิดการสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่แล้วเติมเข้าสู่กระแสเลือดหนึ่งโมเลกุลเช่นกัน




ในภาวะปกติปริมาณของไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับทิ้งโดยระบบแอมโมเนียบัฟเฟอร์จะคิดเป็นประมาณร้อยละ 50 ของไฮโดรเจนไอออนที่ถูกขับทิ้งทางไตทั้งหมดและการขับทิ้งกรดโดยวิธีนี้จะเกิดการสร้างไบคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 50 ของจำนวนไบคาร์บอเนตที่สร้างขึ้นใหม่ด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามในภาวะที่ร่างกายเกิด chronic acidosis การขับทิ้งไฮโดรเจนไอออนทางไตสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึงวันละ 500 mEq เนื่องภาวะ chronic acidosis มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์สูงขึ้น ซึ่งจะมีผลกระตุ้นกระบวนการเผาผลาญกลูตาเมตเพื่อสร้างแอมโมเนียมและไบคาร์บอเนตขึ้นมาใหม่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่และการขับไฮโดรเจนไอออนทั้งโดยแอมโมเนียบัฟเฟอร์เป็นกลไกที่สำคัญในการชดเชยของร่างกายเมื่อเกิดภาวะ chronic acidosis และเราสามารถประเมินการทำงานของไตในการชดเชยต่อภาวะ chronic acidosis โดยการวัดปริมาณแอมโมเนียมในน้ำปัสสาวะซึ่งหากผู้ป่วยมีภาวะ chronic acidosis พร้อมกับมีปริมาณแอมโมเนียมในปัสสาวะสูงจะแสดงว่าไตสามารถสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่และขับกรดทิ้งในรูปแอมโมเนียมได้ดีอยู่

**6.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการขับออกไฮโดรเจนไอออนและการดูดกลับไบคาร์บอเนตโดยท่อไต**

จากที่กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้คือ เมื่อมีการขับออกไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์อิพิทีเลียมของท่อไตเข้าสู่โพรงท่อไตจะมีผลโดยตรงการดูดกลับไบคาร์บอเนตและการสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่ขึ้นมาด้วย ดังนั้นการทำงานของไตเพื่อรักษาสมดุลกรด-ด่างจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมอัตราการขับออกของไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพรงท่อไตให้มีความเหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของกรดหรือด่างในร่างกาย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพงท่อไตมีดังนี้

1. ) ค่าความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง ($PaCO_2$) เมื่อร่างกายเกิดภาวะ respiratory acidosis ค่า $PaCO_2$ สูงขึ้นจะมีผลโดยตรงต่อเซลล์ท่อไตให้ขับออกไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น

2. ) ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์เมื่อเกิดภาวะ metabolic acidosis ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์สูงขึ้น (หรือค่า pH ที่ของเหลวนอกเซลล์ลดลง) จะมีผลโดยตรงต่อเซลล์ท่อไตให้ขับออกไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น

3. ) ระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน เมื่อระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนสูงขึ้นจะกระตุ้น alpha intercalated cells บริเวณท่อไตรวมให้ขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพรงท่อไตมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยกลุ่ม primary

hyperaldosteronism หรือ Conn's Syndrome ผู้ป่วยกลุ่มนี้จะมีระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนสูงกว่าปกติ ทำให้ท่อไตรวมดูดกลับโซเดียมและขับออกโพแทสเซียมเพิ่ม เมื่อท่อไตรวมขับออกโพแทสเซียมมากกว่าปกติจะเกิดภาวะ hypokalemia ตามมาซึ่งภาวะ hypokalemia นี้เองจะกระตุ้นการดูดกลับโพแทสเซียมและขับออกไฮโดรเจนไอออนที่ alpha intercalated cells ด้วยวิธี $H^+$-$K^+$ ATPases pump จากผลการขับออกไฮโดรเจนไอออนจึงทำให้มีการเติมไบคาร์บอเนตเข้าสู่กระแสเลือดมากขึ้น ผู้ป่วยกลุ่มนี้จึงมักมีอาการ metabolic alkalosis ร่วมด้วย

4. ) ระดับ angiotensin II เนื่องจาก angiotensin II มีฤทธิ์โดยตรงต่อกระบวนการ $Na^+$ $H^+$ exchangers บริเวณท่อไตส่วนต้นดังนั้นเมื่อระดับ angiotensin II สูงขึ้นจึงมีผลโดยตรงในการเพิ่มการขับออกไฮโดรเจนไอออน

5. ) ปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์ ในภาวะที่ร่างกายขาดน้ำหรือมีปริมาตรของของเหลวนอกเซลล์ลดลง จะกระตุ้นการดูดกลับโซเดียมที่ท่อไต รวมทั้งกระตุ้น $Na^+$ $H^+$ exchangers ด้วย จึงทำให้ท่อไตขับออกไฮโดรเจนไอออนและดูดกลับไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น

**4.3 ความผิดปกติของสมดุลกรด-ด่างที่เกิดขึ้นในร่างกาย**

ในสภาวะปกติร่างกายจะรักษาระดับ pH ของของเหลวนอกเซลล์ให้คงที่โดยอยู่ในช่วง 7.35-7.45 ดังนั้นถ้า pH มีค่าน้อยกว่า 7.35 แสดงว่าเกิดภาวะเลือดเป็นกรด (acidosis) ในทางตรงกันข้ามเมื่อ pH มีค่ามากกว่า 7.45 แสดงว่าเกิดภาวะเลือดเป็นด่าง (alkaosis) สามารถแบ่งความผิดปกติของสมดุลกรด-ด่างตามสาเหตุการเกิดได้ 4 ประเภทดังนี้

1. ) ภาวะกรดเกินจากการหายใจ (Respiratory acidosis) เป็นภาวะกรดเกินที่เกิดจากความผิดปกติของระบบหายใจเป็นผลจากการระบายอากาศ (ventilation) ลดลงแล้วทำให้ค่า $PaCO_2$ ในของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้นเมื่อ $PaCO_2$ สูงขึ้นจะส่งผลให้ความเข้มข้นของไอโดนเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้นและ pH มีค่าต่ำกว่าปกติ ภาวะกรดเกินจากการหายใจสามารถเกิดขึ้นได้จากสาเหตุต่อไปนี้ การบาดเจ็บของระบบประสาทที่ควบคุมการหายใจแล้วทำให้อัตราการหายใจช้าลงหรืออาจเกิดจากความสามารถของปอดในกากำจัด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เช่น ผู้ป่วยที่มีภาวะทางเดินหายใจอุดกลั้น ภาวะปอดบวม ภาวะถุงลมโป่งพอง หรือปัจจัยอื่นที่มีผลไปลดการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างถุงลมกับหลอดเลือดฝอยในปอด ก็อาจเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะกรดเกินจากการหายใจได้ เมื่อเกิดภาวะกรดเกินจากการหายใจร่างกายจะชดเชยโดย (1) ระบบบัฟเฟอร์ที่อยู่ในของเหลวของร่างกายและ (2) การทำงานของระบบไตในการขับไฮโดรเจนไอออนทิ้งและสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่ แต่การทำงานของระบบไตนั้นอาจใช้เวลาหลายวันเพื่อชดเชยความผิดปกติดังกล่าว

2) ภาวะด่างเกินจากการหายใจ (Respiratory alkalosis) เป็นภาวะด่างเกินที่เกิดจากความผิดปกติของระบบหายใจเป็นผลจากการเพิ่มการระบายอากาศของปอดแล้วทำให้ค่า $PaCO_2$ ในของเหลวนอกเซลล์ลดลงเมื่อ $PaCO_2$ ต่ำกว่าปกติจะส่งผลให้ความเข้มข้นของไอโดนเจนไอออนในของเหลวนอกเซลล์ลดลงและ pH มีค่าสูงกว่าปกติ ภาวะด่างเกินจากการหายใจอาจมีสาเหตุจากการกระตุ้นศูนย์ควบคุมการหายใจ ยกตัวอย่างเช่น เมื่ออยู่ในที่สูง (high attitude) ซึ่งมีออกซิเจนเบาบางจะให้ค่าความดันย่อยของออกซิเจนในเลือด ($PaO_2$) ลดลงจึงเกิดกระตุ้นศูนย์ควบคุมการหายใจ ทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกขับทิ้งออกมากกว่าปกติทำให้ค่า $PaCO_2$ ลดลงและเกิดภาวะด่างเกินจากการหายใจตามมา หรืออาจเกิดจากการใช้ยาบางชนิดที่มีผลกระตุ้นการทำงานของศูนย์ควบคุมการหายใจ เมื่อเกิดภาวะด่างเกินจากการหายใจร่างกายจะชดเชยโดย (1) ระบบบัฟเฟอร์ทางเคมีที่อยู่ในของเหลวของร่างกายและ (2) การทำงานของระบบไตในการเพิ่มการขับทิ้งไบคาร์บอเนตส่วนเกิน

3. ) ภาวะกรดเกินจากเมแทบอลิซึม (Metabolic acidosis) ภาวะกรดเกินจากเมแทบอลิซึมหมายถึง ภาวะกรดเกินที่เกิดจากสาเหตุอื่น ๆ ยกเว้นกรดเกินที่เกิดจากระดับ $PaCO_2$ สูงกว่าปกติ ภาวะนี้จะส่งผลให้ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในของเหลวนอกเซลล์ต่ำกว่าค่าปกติ และส่งผลให้ค่า pH ในเลือดลดลงภาวะกรดเกินจากเมแทบอลิซึมอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

3.1) การขับทิ้งกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายโดยระบบไตล้มเหลว เช่น ในผู้ป่วยโรคไตวายเรื้อรังความสามารถของท่อไตในการขับออกไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โพรงท่อไตหรือการดูดกลับไบคาร์บอเนตจะลดลง รวมทั้งกระบวนการสร้างไบคาร์บอเนตตัวใหม่โดยการทำงานของเซลล์ท่อไตก็ลดลงเช่นกัน จึงทำให้กรดที่ร่างกายสร้างขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมไม่สามารถขับทิ้งออกทางไตได้ จึงเกิดภาวะกรดเกินจากเมแทบอลิซึมหรือที่เรียกเฉพาะว่า renal tubular acidosis

3.2) ร่างกายมีการสร้างกรดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมเพิ่มขึ้นเช่นในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 1 ที่ลืมฉีดอินซูลินรวมทั้งผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่มีระดับอินซูลินลดลงภาวะดังกล่าวร่างกายไม่สามารถสร้างพลังงานจากน้ำตาลกลูโคสได้ ดังนั้นร่างกายจึงเปลี่ยนมาสร้างพลังงานจากการสลายไขมันทำให้เกิดการสร้างคีโตนเพิ่มขึ้นและระดับคีโตนในเลือดสูงขึ้นแล้วเกิดภาวะ Diabetic Ketoacidosis ตามมา

4. ) ภาวะด่างเกินจากเมแทบอลิซึม (Metabolic alkalosis) เป็นผลมาจากร่างกายมีความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในของเหลวนอกเซลล์มากกว่าปกติ ส่งผลให้ค่า pH ในเลือดเพิ่มขึ้น ภาวะด่างเกินจากเมแทบอลิซึมอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

4.1) การอาเจียนที่สูญเสียกรดจากกระเพาะอาหาร ทำให้เกิดการสูญเสียกรดจากของเหลวนอกเซลล์และเกิดภาวะด่างเกินตามมา

4.2) ระดับฮอร์อัลโดสเตอโรนสูงกว่าปกติ ยกตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยกลุ่ม primary hyperaldosteronism ผู้ป่วยกลุ่มนี้จะมีระดับฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนสูงกว่าปกติ ทำให้ท่อไตรวมดูดกลับโซเดียมและขับออกโพแทสเซียมเพิ่ม เมื่อท่อไตรวมขับออกโพแทสเซียมมากกว่าปกติจะเกิดภาวะ hypokalemia ตามมาซึ่งภาวะ hypokalemia นี้เองจะกระตุ้นการทำงานของ alpha intercalated cells ที่บริเวณท่อไตรวมให้ดูดกลับโพแทสเซียมและขับออกไฮโดรเจนไอออนด้วยวิธี $H^+$-$K^+$ ATPases pump จากผลการขับออกไฮโดรเจนไอออน จึงทำให้มีการเติมไบคาร์บอเนตเข้าสู่กระแสเลือดมากขึ้น จึงทำให้ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในของเหลวนอกเซลล์มากกว่าปกติและเกิดภาวะด่างเกินตามมา

4.3) มีการเติมด่างเข้าไปในร่างกาย ยกตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยโรคกระเพาะอาหารที่รับยากลุ่ม sodium bicarbonate มากเกินไปส่งผลให้ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในของเหลวนอกเซลล์เพิ่มขึ้น เมื่อเกิดภาวะด่างเกินจากเมแทบอลิซึมร่างกายจะชดเชยโดย (1) ระบบบัฟเฟอร์ทางเคมีที่อยู่ในของเหลวของร่างกาย (2) การทำงานของระบบหายใจโดยการลดการระบายอากาศและ (3) การทำงานของไตโดยท่อไตจะลดการดูดกลับไบคาร์บอเนตและลดการขับออกไฮโดรเจนไอออน

## เอกสารอ้างอิง

พงศธร ดชเสนี. (2560). Fluid, Electrolyte and Acid-Base Disorder. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัทเท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่นจำกัด.

รำแพน พรเทพเกษมสันต์. (2556). *กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์.* (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ศิลปาบรรณาคาร

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy* : *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์.* (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา. สราวุธ บรรบุผา. (2562).

เอกสารประกอบคำสอนรายวิชา สรีรวิทยาของมนุษย์สำหรับวิทยาศาสตร์สุขภาพ เรื่อง สมดุลน้ำ อิเล็กโทรไลต์ และกรด-ด่างในร่างกาย. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศชาย
(Anatomy and Physiology of Male Reproductive system)

**จำนวนชั่วโมง** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศชาย
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกหน้าที่ของระบบสืบพันธุ์เพศชายได้อย่างถูกต้อง
2. บอกหน้าที่ของอัณฑะได้อย่างถูกต้อง
3. บอกหน้าที่ของเซลล์ในอัณฑะได้อย่างถูกต้อง
4. เรียงลำดับท่อ accessory ducts ได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายส่วนต่างๆ ของท่อปัสสาวะได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายโครงสร้างและส่วนประกอบของ penis ได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายกายวิภาคของต่อมลูกหมากได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายขั้นตอนการสร้างเชื้ออสุจิได้อย่างถูกต้อง
9. อธิบายคุณสมบัติของน้ำอสุจิ
10. อธิบายกลไกการออกฤทธิ์ของเทสทอสเตอโรน
11. อธิบายหน้าที่ของฮอร์โมนเพศชาย
12. อธิบายกลไกการควบคุมการทำงานของอัณฑะ
13. อธิบายกลไกการแข็งตัวขององคชาต

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน

3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจตคติในการเรียนการสอน

# 11

****************************************

# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศชาย
# (Anatomy and Physiology of Male Reproductive system)

**ตอนที่ 1 โครงสร้างของระบบสืบพันธุ์เพศชาย**

1.1 อัณฑะ (Testis)

1.2 ระบบท่อต่างๆ (Accessory ducts)

1.2.1 Straight seminiferous tubule

1.2.2 Rete testis

1.2.3 Efferent ductule

1.2.4 Epididymis

1.2.5 Ductus deferens

1.2.6 Ejaculatory duct

1.2.7 Urethra

1.3 ต่อมที่เกี่ยวข้อง (Accessory glands)

1.4 องคชาต (Penis)

**ตอนที่ 2 หน้าที่ของระบบสืบพันธุ์เพศชาย**

2.1 การสร้างเชื้ออสุจิ (Spermatogenesis)

2.1.1 ขั้นตอนการสร้าง

2.1.2 การพัฒนาเป็นเชื้ออสุจิ

2.1.3 การเจริญเต็มวัยของอสุจิ

2.1.4 น้ำอสุจิ

2.2 ฮอร์โมนเพศชาย

2.2.1 กลไกการออกฤทธิ์ของ testosterone

2.2.2 หน้าที่ของฮอร์โมนเพศชาย

2.3 การควบคุมการทำงานของอัณฑะ

2.4 การแข็งตัวของององคชาต

# บทที่ 11
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศชาย
# (Anatomy and Physiology of Male Reproductive system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ.
วทม. (สรีรวิทยา)

ระบบสืบพันธุ์เพศชาย ประกอบด้วยอวัยวะที่อยู่ภายนอกร่างกายและรอบๆ บริเวณเชิงกราน มีหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ การสร้างเชื้ออสุจิ และฮอร์โมนเพศชาย

## ตอนที่ 1
## โครงสร้างของระบบสืบพันธุ์เพศชาย

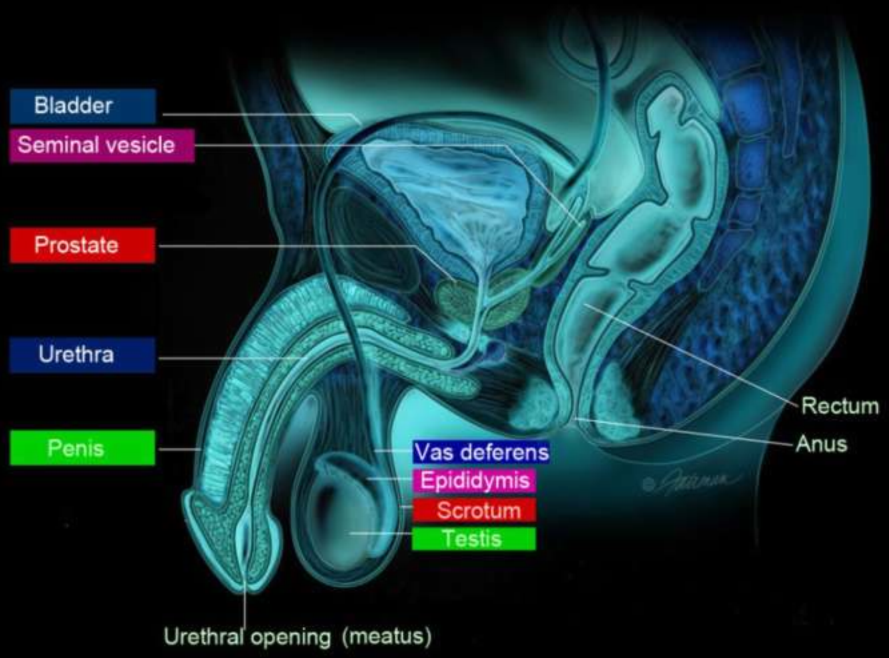
อวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

**1. Testis (อัณฑะ)** ทำหน้าที่ผลิตอสุจิ (sperm) และสร้างฮอร์โมนเพศชาย คือ testosterone

**2. Accessory glands (ต่อมที่เกี่ยวข้อง)** ได้แก่ ถุงน้ำอสุจิ (seminal vesicle), ต่อมลูกหมาก (prostate gland) และต่อมคาวเปอร์ (Cowper's gland หรือ Bulbourethral glands) ต่อมสร้างน้ำเมือกเพื่อนำอสุจิไปสู่องคชาต (penis) น้ำเมือกที่สร้างเมื่อรวมกับอสุจิ จะเรียกว่า semen

**2. Accessory ducts (ระบบท่อต่างๆ)** ทำหน้าที่เก็บและนำน้ำอสุจิ (semen) ไปสู่องคชาต ได้แก่ ท่อพักเชื้ออสุจิ (epididymis) หลอดนำเชื้ออสุจิ (vas deferens, ductus deferens) และท่อหลั่งน้ำอสุจิ (ejaculatory duct)

**4. Penis (อวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย)** เป็นอวัยวะนำน้ำอสุจิเข้าสู่ช่องคลอดในระหว่างมีเพศสัมพันธ์




รูปที่ 11-1 แสดงกายวิภาคของระบบสืบพันธุ์เพศชาย

## 1.1 อัณฑะ (Testis)

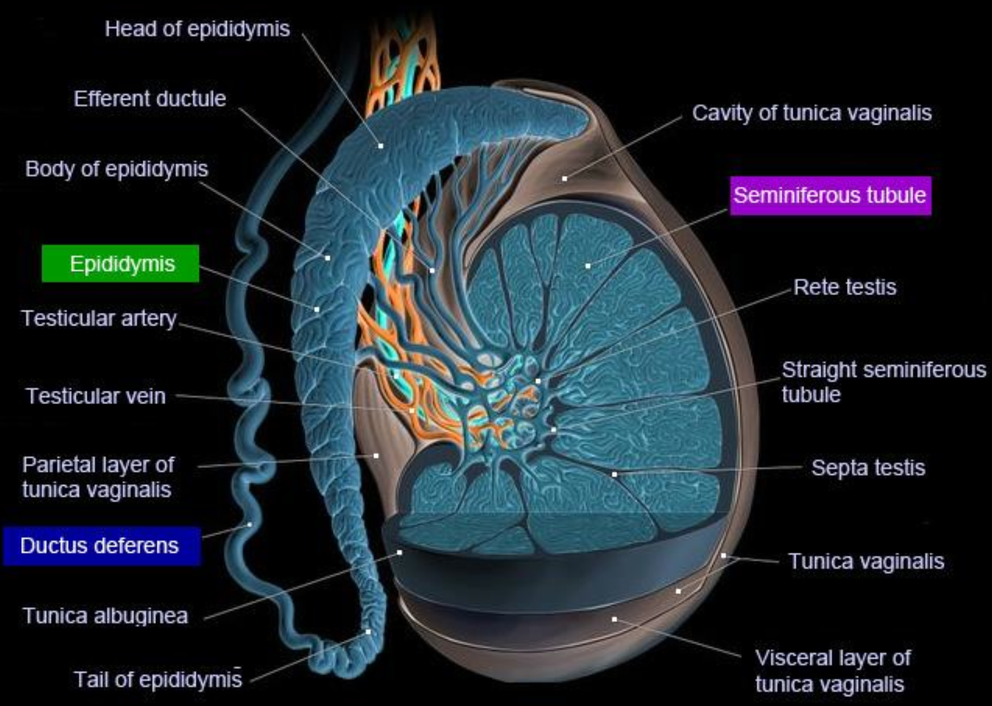
เป็นอวัยวะสืบพันธุเพศชาย ทำหน้าที่สร้าง sperm หรือ spermatozoa ในระหว่างที่มีการเจริญของทารกในครรภ์ ลูกอัณฑะจะเลื่อนลงมาอยู่ในช่องตรงขาหนีบ (inguinal canal) ต่อมาเดือนที่ 7 จะเลื่อนลงมาอยู่ในถุงอัณฑะ (scrotum) ซึ่งเป็นที่อยู่ตามปกติของลูกอัณฑะเนื่องจากลูกอัณฑะอยู่ในถุงอัณฑะ ซึ่งอยู่ภายนอกร่างกาย ดังนั้น อุณหภูมิภายในถุงอัณฑะจึงต่ำกว่าอุณหภูมิร่างกายประมาณ 3 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการสร้าง sperm และการดำรงชีวิตของ sperm

อัณฑะ มี 1 คู่ ในถุงหุ้มอัณฑะ มีรูปร่างเป็นรูปไข่ ผู้ใหญ่มีน้ำหนักประมาณ 10-14 กรัม มีขนาดประมาณ 5X2.5X2 ซม. อัณฑะมีแคปซูลหุ้ม 3 ชั้น ดังนี้

**1. ชั้นนอก (visceral layer of tunica vaginalis)** จะหุ้มเฉพาะด้านหน้าและด้านข้าง แล้ววกกลับไปเป็น parietal layer

**2. ชั้นกลาง (tunica albuginea)** เป็นชั้นของเนื้อเยื่อพังผืดหนาและเหนียว จะเห็นเป็นสีขาวหุ้มรอบอัณฑะ เนื้อเยื่อชั้นนี้จะยื่นเข้าไปในลูกอัณฑะ แบ่งอัณฑะเป็นกลีบๆ

**3. ชั้นใน (tunica vasculosa)** เป็นเนื้อยึดต่อหลวมๆ แคบๆ อยู่ใต้ต่อ tunica albuginea มีหลอดเลือดทอดอยู่ และแตกแขนงมากมาย แล้วทอดเข้าไปเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อภายในอัณฑะ




รูปที่ 11-2 แสดงกายวิภาคของอัณฑะ (Testis)

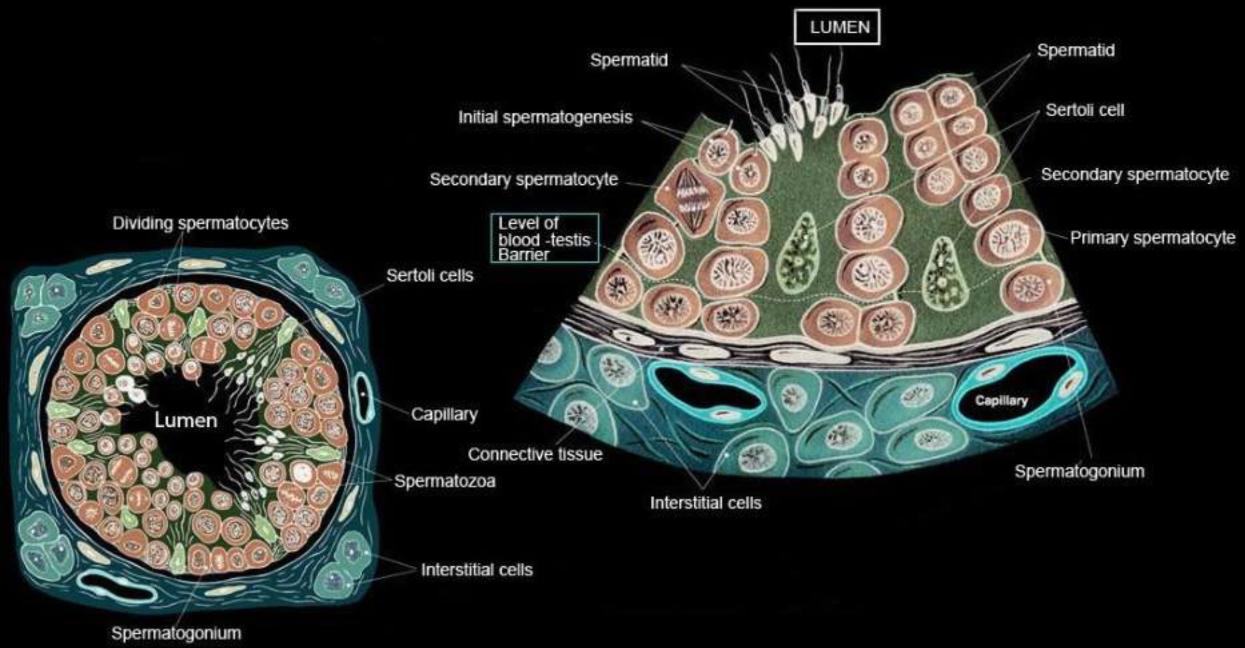
.

ภายในอัณฑะ แต่ละข้างประกอบด้วยหลอดสร้างอสุจิ หรือ ท่อเซมินิเฟอรัส (seminiferous tubules) ข้างละประมาณ 800 ท่อ เมื่อรวมความยาวของท่อนี้ทั้ง 2 ข้างจะได้ประมาณ 225 เมตร ผนังของ semiferous tubules จะบุด้วย germinal tissue ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิดได้แก่ spermatogenic cells และ sustentacular (Sertoli) cells

**Spermatogenic cells** ประกอบด้วย spermatogonia, spermatocytes และ spermatids ซึ่งจะเจริญต่อไปเป็น mature sperm (เชื้ออสุจิ) ขบวนการเจริญเป็น mature sperm เรียกว่า spermatogenesis

**Sustentacular cells (Sertoli cells)** เซลล์เซอร์โตลีเป็นเซลล์ทรงสูง มีขอบเขตของเซลล์จากเยื่อฐานเซลล์ไปจนถึงโพรงของท่อ บริเวณของเซลล์แต่ละเซลล์ซึ่งมาอยู่ชิดกันมากทำให้เกิด เป็นจุดเชื่อมอย่างแน่น การเรียงตัวของเซลล์เซอร์โทลีเปรียบเสมือนชั้นกั้นระหว่างเลือดและอัณฑะ (Blood-testis barrier) เซลล์เซอร์โตลี มีหน้าที่เป็นเซลล์พี่เลี้ยงช่วยเตรียมอาหารไว้เลี้ยงเซลล์ต้นกำเนิดของเชื้ออสุจิ, สร้างและหลั่งโปรตีนที่สำคัญต่อกระบวนการสร้างเชื้ออสุจิ เช่น ceruloplasmin และ transferrin, ช่วยเปลี่ยนแอนโดรเจนให้เป็นเอสโทรเจนซึ่งมีผลต่อกระบวนการสร้างเชื้ออสุจิ, สร้างและหลั่งอินฮิบินเพื่อมาควบคุมการหลั่ง FSH, สร้าง androgen-binding protein (ABP) เพื่อจับกับแอนโดรเจน, กินเซลล์ต้นกำเนิดของเชื้ออสุจิและเชื้ออสุจิที่ตายแล้ว

**Leydig cells (เซลล์ไลดิก)** เป็นเซลล์ที่แทรกอยู่ระหว่างท่อเซมินิเฟอรัส และเป็นเซลล์ชนิดเดียวในอัณฑะที่มีตัวรับสัญญาณสำหรับ LH (LH receptor) ทำหน้าที่สร้างหลั่งฮอร์โมนเพศชาย คือ Androgens และที่สำคัญที่สุด คือ testosterone ซึ่งมีผลต่อการสร้างเชื้ออสุจิและการพัฒนาอวัยวะของเพศชาย




รูปที่ 11-3 แสดงโครงสร้างภายในของท่อเซมินิเฟอรัส

## 1.2 ระบบท่อต่างๆ (Accessory ducts)

อสุจิที่สร้างจากอัณฑะ จะถูกนำเข้าสู่ penis โดยระบบท่อต่างๆ เรียงลำดับ ดังนี้ Straight seminiferous tubule (tubuli recti), Rete testis, Efferent ductule, Head of epididymis, Ductus deferens (vas deferens) และ Ejaculatory duct ตามลำดับ (ดูรูปที่ 11-2)

**1.2.1 Straight seminiferous tubule** ลักษณะเป็นท่อตรง ทำหน้าที่รับอสุจิที่จาก convoluted seminiferous tubule ส่งไป rete testis

**1.2.2 Rete testis** ลักษณะเป็นท่อแตกแขนงเป็นร่างแห ทำหน้าที่ รับspermatozoa ต่อจาก straight seminiferous tubule เพื่อส่งไป efferent ductile

**1.2.3 Efferent ductule** ลักษณะเป็นท่อเล็กๆ 10-20 ท่อ มีกล้ามเนื้อหุ้ม เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวจะบีบไล่อสุจิเข้าสู่ epididymis

**1.2.4 Epididymis (ท่อพักเชื้ออสุจิ)** เป็นก้อนที่ประกอบด้วยท่อขดไปมารูปร่างเป็นตัว C วางพาดอยู่บนอัณฑะ epididymis ประกอบด้วยท่อเดียว ยาวประมาณ 6 เมตร ประกอบด้วยส่วนหัว (head), ส่วนตัว (body) และส่วนหาง (tail) อยู่ตรงส่วนล่างสุดของอัณฑะ ซึ่งท่อจะขดตัวน้อยลง แล้วย้อนกลับขึ้นไปเป็น ductus deferens

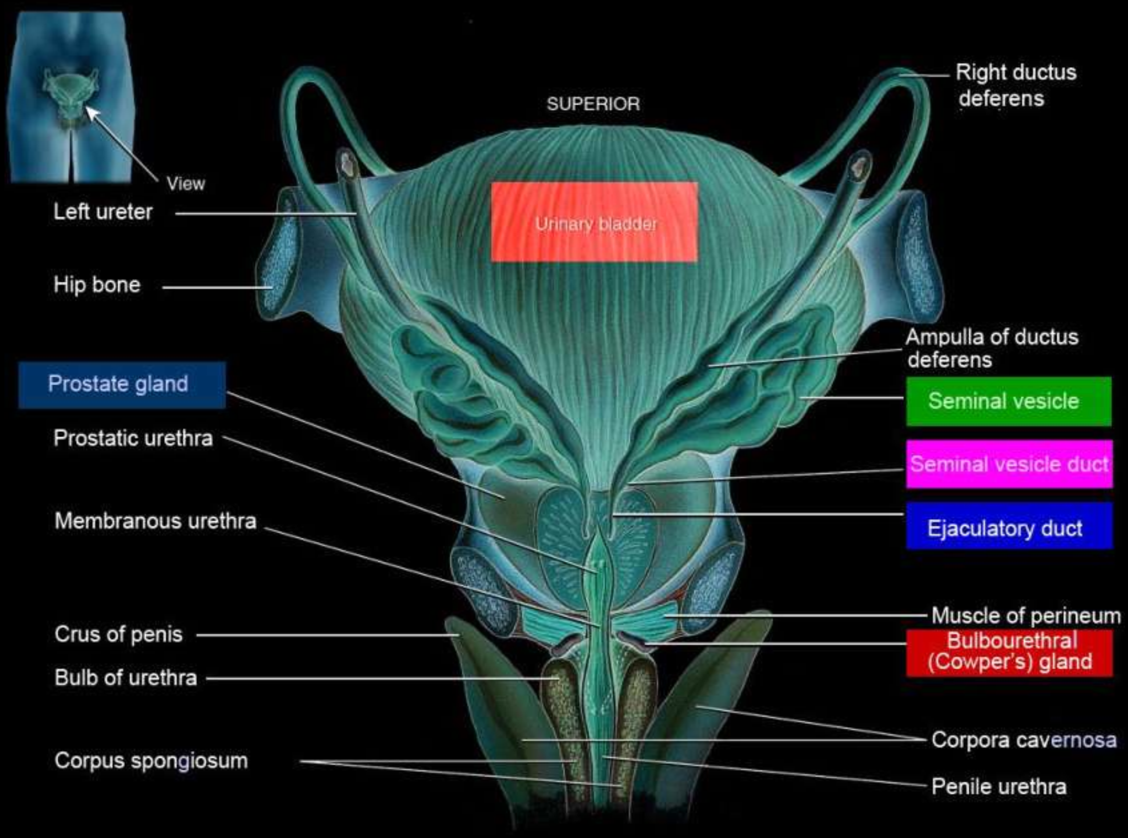
Epididymis มีหน้าที่สำคัญ ดังนี้

1. เก็บอสุจิไว้ จนกว่าจะเจริญเต็มที่ แล้วพร้อมที่จะหลั่งออกไป
2. เป็นทางผ่านของอสุจิ จาก testis ถึง ejaculatory duct
3. บีบไล่อสุจิไปสู่ penis โดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่อยู่รอบๆ ท่อ

เชื้ออสุจิที่เดินทางผ่าน epididymis อาจใช้เวลา 10 วัน หรืออาจยาวนานถึง 4-5 สัปดาห์ จนกระทั่งเชื้ออสุจิเจริญเติบโตเต็มที่ อสุจิที่ยังไม่มีการขับออกจะเสื่อมสลายไป

**1.2.5 Ductus deferens หรือ Vas deferens (ท่อน้ำเชื้ออสุจิ)** Ductus deferens เป็นท่อที่ต่อจาก epididymis ยาวประมาณ 45 ซม. ไปสิ้นสุดที่ ejaculatory duct ทางเดินของ ductus deferens จะออกจาก epididymis เข้ามาอยู่ใน spermatic cord ผ่าน inguinal canal แล้วผ่านไปทางด้านหลังของกระเพาะปัสสาวะทอดคู่ไปกับต่อม seminal vesicle แล้วไปเปิดเข้าสู่ ejaculatory duct ขณะที่ทอดคู่กับ seminal vesicle จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ampulla

Ductus deferens มีผนังกล้ามเนื้อเรียบ 3 ชั้น มีเส้นประสาทซิมพาเทติกมาสิ้นสุดที่กล้ามเนื้อเรียบนี้ การกระตุ้นประสาทซิมพาเทติกส่วนนี้ จะทำให้เกิดการบีบตัวและทำให้อสุจิเคลื่อนตัวไปสู่ ejaculatory duct กล้ามเนื้อเรียบของ ductus deferens มีความหนามาก สามารถคลำผ่านถุงอัณฑะได้เป็นแท่ง จึงมีประโยชน์อย่างมากในการทำหมันชาย




รูปที่ 11-4 ด้านหลังของกระเพาะปัสสาวะ แสดง seminal vesicle, prostate gland, และ bulbourethral gland

**1.2.6 Ejaculatory duct (ท่อฉีดอสุจิ)** ส่วนปลาย ampulla ของ ductus deferens จะต่อกับปลายของ seminal vesicle กลายเป็นท่อที่เรียกว่า ejaculatory duct มีความยาวประมาณ 2 ซม. ทอดผ่านต่อมลูกหมากแล้วไปเปิดที่ท่อปัสสาวะ

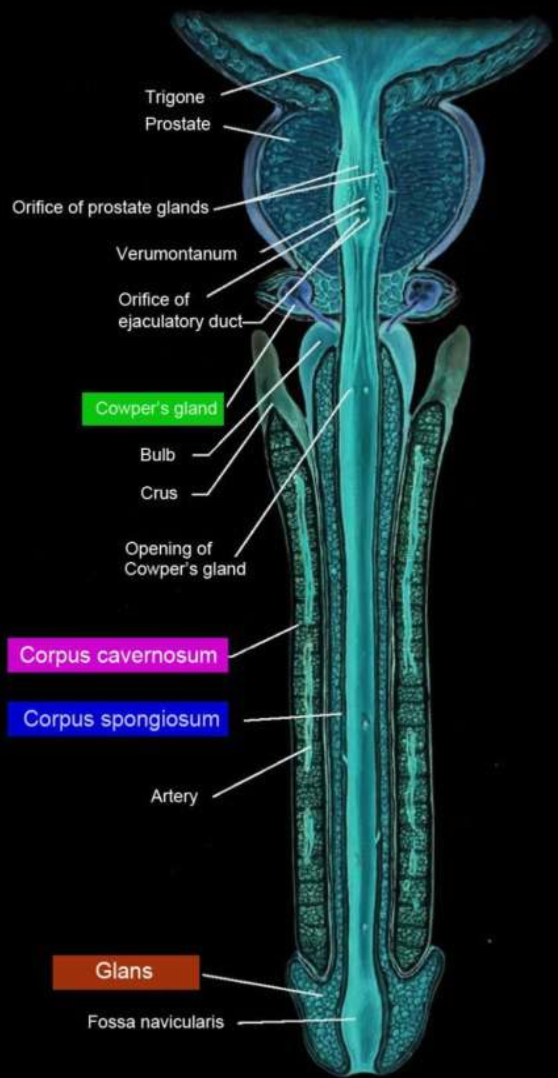
**1.2.7 Urethra (ท่อปัสสาวะ)** ท่อปัสสาวะเริ่มต้นจากกระเพาะปัสสาวะ ผ่านต่อมลูกหมาก แล้วเข้าไปอยู่ในองคชาต ในระบบสืบพันธุ์ท่อปัสสาวะทำหน้าที่เป็นท่อทางผ่านของอสุจิออกสู่ภายนอก ท่อมีความยาวประมาณ 20 ซม. แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

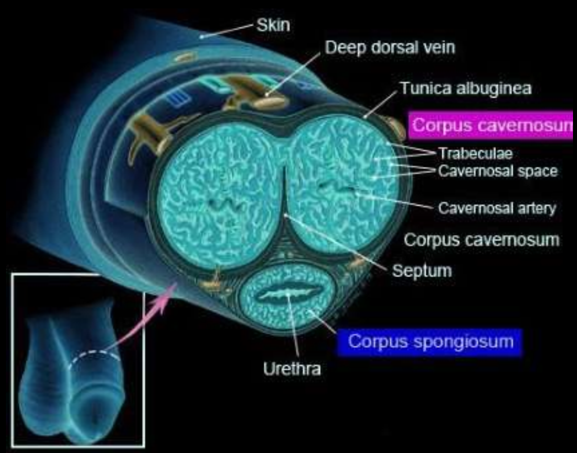
**1) Prostatic part** ยาวประมาณ 3-4 ซม. ทางเดินอยู่ในต่อมลูกหมากจากคอของกระเพาะปัสสาวะ ถึง apex ของต่อมลูกหมาก

**2) Membranous part** เป็นส่วนที่สั้นที่สุด ยาวประมาณ 1 ซม. ทอดผ่านและมีกล้ามเนื้อลายของ urogenital diaphragm มาล้อมรอบเป็นหูรูดชั้นนอก

**3) Penile part** ส่วนที่ยาวที่สุด ยาวประมาณ 15 ซม. ทอดยาวไปอยู่ใน corpus spongiosum ขององคชาต และที่ปลายองคชาต ท่อนี้จะขยายใหญ่ เรียกว่า fossa navicularis เปิดออกภายนอก

**1.2.8 องคชาต (Penis)** Penis มีหน้าที่ 2 อย่าง คือ เป็นทางผ่านของน้ำปัสสาวะ และน้ำอสุจิในขณะร่วมเพศ องคชาตประกอบด้วยเนื้อเยื่อพรุนคล้ายฟองน้ำที่เรียกว่า spongy erectile tissue ซึ่งจะถูกหุ้มและยึดด้วยเนื้อเยื่อเส้นใย และหุ้มภายนอกด้วยพังผืดและผิวหนังตามลำดับ Spongy erectile tissue มี 3 แห่ง ดังนี้




รูปที่ 11-5 แสดงกายวิภาคของ penis (A) และภาพตัดขวางของ penis (B)

**1. Corpus cavernosa** 2 แท่ง (corpus cavernosum = เอกพจน์) อยู่ด้านบน ประกอบด้วยโพรงหลอดเลือดเป็นจำนวนมาก เรียกว่า venous sinusoid ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการแข็งตัวของอวัยวะเพศ

**2. Corpus spongiosum** 1 แท่ง อยู่ด้านล่าง ซึ่งภายในแท่งนี้ มีท่อปัสสาวะส่วน penile urethra ทอดผ่าน ส่วนปลายสุดของ corpus spongiosum จะบานออก เรียกว่า glans penis หนังที่หุ้ม glans penis เรียกว่า prepuce ขอบของ glans penis เรียกว่า corona เป็นบริเวณที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยงมาก ใต้ต่อ corona มี frenulum ซึ่งมีต่อมที่สร้างไขมันมาก ไขมันเหล่านี้เมื่อผสมกับเซลล์ที่ตายหลุดล่วง จะให้สารเหนียวๆ คล้ายเนย เรียกว่า smegma

## 3. ต่อมที่เกี่ยวข้อง (Accessory glands)

หมายถึง ต่อมต่างๆ ในระบบสืบพันธุ์ชาย ได้แก่ seminal vesicle, prostate gland, และ bulbourethral gland ดูรูปที่ 11-3

**3.1 Seminal vesicle (ถุงน้ำอสุจิ)** มีลักษณะเป็นถุงยาว ยาวประมาณ 5 ซม. อยู่ด้านหลังของส่วนคอของกระเพาะปัสสาวะ ส่วนปลายล่างของถุงจะแคบลงแล้วไปรวมกับ ampulla เกิดเป็นท่อสั้นๆ เรียกว่า ejaculatory duct ผนังด้านในประกอบด้วยเนื้อยึดต่อมีกล้ามเนื้อเรียบและเส้นประสาทซิมพาเทติก ต่อมสร้างสารคัดหลั่งมีลักษณะข้นใส มีคุณสมบัติเป็นด่าง สารคัดหลั่งที่สร้างจะถูกเก็บไว้ในในท่อ เมื่อต้องการใช้จะหลั่งออก การสร้างสารคัดหลั่งนี้ถูกควบคุมด้วยฮอร์โมน testosterone

**3.2 Prostate glands (ต่อมลูกหมาก)** เป็นต่อมมีท่อที่มีขนาดใหญ่สุดในระบบสืบพันธุ์เพศชาย มีขนาดเท่าลูกเกาลัด ขนาดกว้างประมาณ 3.4 ซม. ยาว 4 ซม. หนา 2.6 ซม. อยู่ล้อมรอบท่อปัสสาวะส่วน prostatic urethra ฐานของต่อมจะแตะอยู่กับคอของกระเพาะปัสสาวะ ส่วนยอดชี้ลงล่างไปแตะกับพื้นของเชิงกราน ด้านหลังของต่อมจะแบน ต่อมลูกหมากไม่มีปลอกหรือถุงหุ้ม แต่จะมีแถบเส้นใยกล้ามเนื้อหุ้มล้อมรอบแทน ต่อมมีอยู่ 4 กลีบ (lobe) ได้แก่ กลีบหน้า (anterior lobe) กลีบหลัง (posterior lobe) กลีบกลาง (median lobe), กลีบข้าง (lateral lobe) 2 กลีบ

หน้าที่ของต่อมลูกหมาก คือ การหลั่งน้ำต่อมลูกหมาก (prostatic fluid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำอสุจิ น้ำหลั่งมีลักษณะเป็นด่างเล็กน้อย สีน้ำนมหรือสีขาว ในมนุษย์น้ำอสุจิจะมีน้ำต่อมลูกหมากประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 30 ความเป็นด่างของน้ำอสุจิ ช่วยทำให้สภาพกรดของช่องคลอดเป็นกลาง ทำให้อายุของตัวอสุจิยาวนานขึ้น การสร้างน้ำต่อมลูกหมากอยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมน testosterone

เนื่องจากต่อมลูกหมาก มีท่อปัสสาวะ prostatic urethra ทอดผ่าน ดังนั้นขนาดต่อมจึงมีผลต่อการขับถ่ายปัสสาวะ ในผู้ชายวัยกลางคนจนถึงวัยสูงอายุ ต่อมลูกหมากจะมีขนาดโตขึ้น โดยเฉพาะกลีบ median lobe ทำให้ท่อปัสสาวะตีบ มีอาการปัสสาวะลำบาก

**3.3 Bulbourethra glands (Coper's glands)** ต่อมมีขนาดเล็กประมาณ 1 ซม. มีท่อมาเปิดเข้าท่อปัสสาวะตรงส่วน penile urethra  ต่อมทำหน้าที่สร้างเมือกใสๆ ทำหน้าที่หล่อลื่นในช่วงแรกของการมีเพศสัมพันธ์

***************************************

# ตอนที่ 2
# หน้าที่ของระบบสืบพันธุ์เพศชาย

ระบบสืบพันธุ์ชายมีหน้าที่หลัก มี 2 ประการ คือ การสร้างเชื้ออสุจิ และสร้างฮอร์โมนเพศชาย รายละเอียดดังนี้

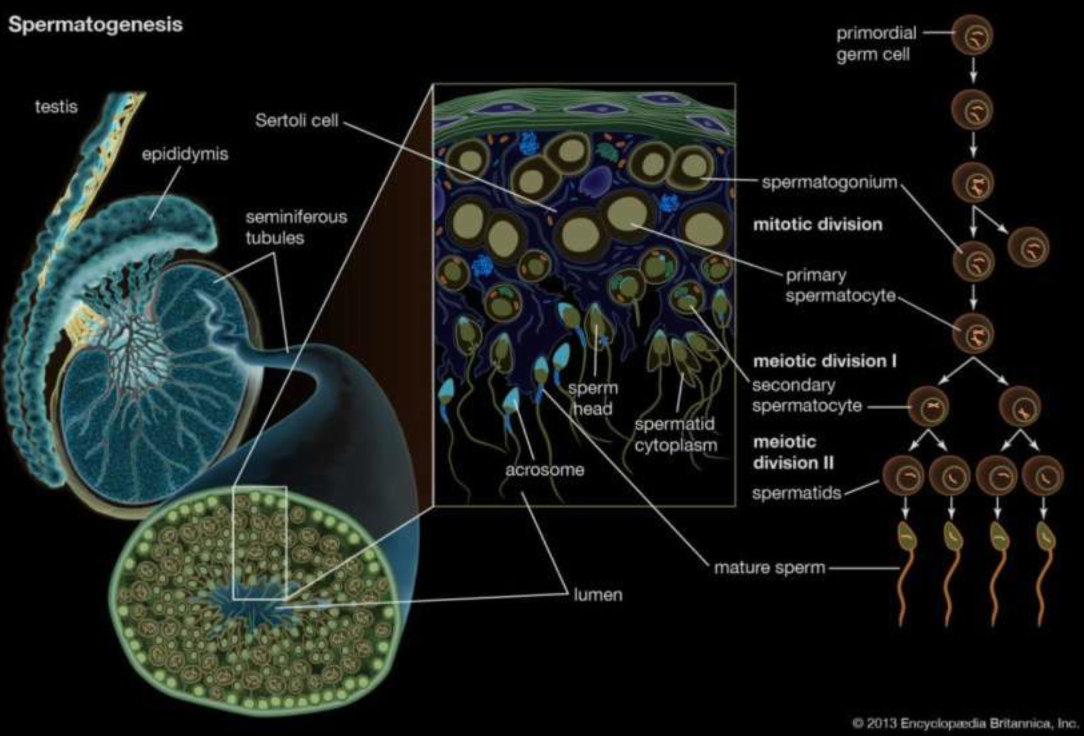
## 2.1 การสร้างเชื้ออสุจิ (Spermatogenesis)

### 2.1.1 ขั้นตอนการสร้าง

ในเพศชายสามารถสร้างเชื้ออสุจิได้ตลอดชีวิต สเปอร์มาโตโกเนียม (spermatogonium) สามารถแบ่งตัวให้เซลล์ใหม่เป็นจำนวนมาก ในขณะที่เพศหญิงหลังจากคลอด รังไข่จะมีเซลล์ไข่จำนวนคงที่และจะลดจำนวนลง

สเปอร์มาโตโกเนียมแต่ละตัว จะมีการพัฒนาให้เชื้ออสุจิได้ 64 ตัว เริ่มจากสเปอร์มาโตโกเนียม ซึ่งมีโครโมโซมเป็นจำนวนคู่ (diploid number) แบ่งตัวแบบไมโตซิส หลายครั้งได้ spermatogonia จำนวนมาก ซึ่งแบ่งเป็น 2 พวก คือ Type A เพื่อสะสมไว้เป็นเซลล์ตั้งต้น และ Type B เป็นเซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงและเข้าสู่กระบวนการสร้างเชื้ออสุจิ

Spermatogonia Type B เปลี่ยนแปลงเป็นสเปอร์มาโตไซต์ปฐมภูมิ (primary spermatocyte) โดยมีการสร้าง DNA เพิ่มเป็น 2 เท่า (46 โครโมโซม, 92 โครโมติด, 4n DNA) จากนั้นเข้าสู่การแบ่งตัวแบบ meiosis ครั้งที่ 1 ให้สเปอร์มาโตไซต์ทุติยภูมิ (secondary spermatocyte) 2 ตัว ซึ่งแต่ละตัวจะมีโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง ซึ่งเป็น haploid number (23 โครโมโซม, 46 โครโมติด, 2n DNA) เมื่อเข้าสู่การแบ่งตัว meiosis ครั้งที่ 2 โครมาติดของแต่ละโครโมโซมจะแยกจากกัน ดังนั้น สเปอร์มาโตโกเนียมชนิด Type B 1 ตัว ให้สเปอร์มาติด (spermatid) 4 ตัว ซึ่งแต่ละตัวมีโครโมโซม 23 อัน

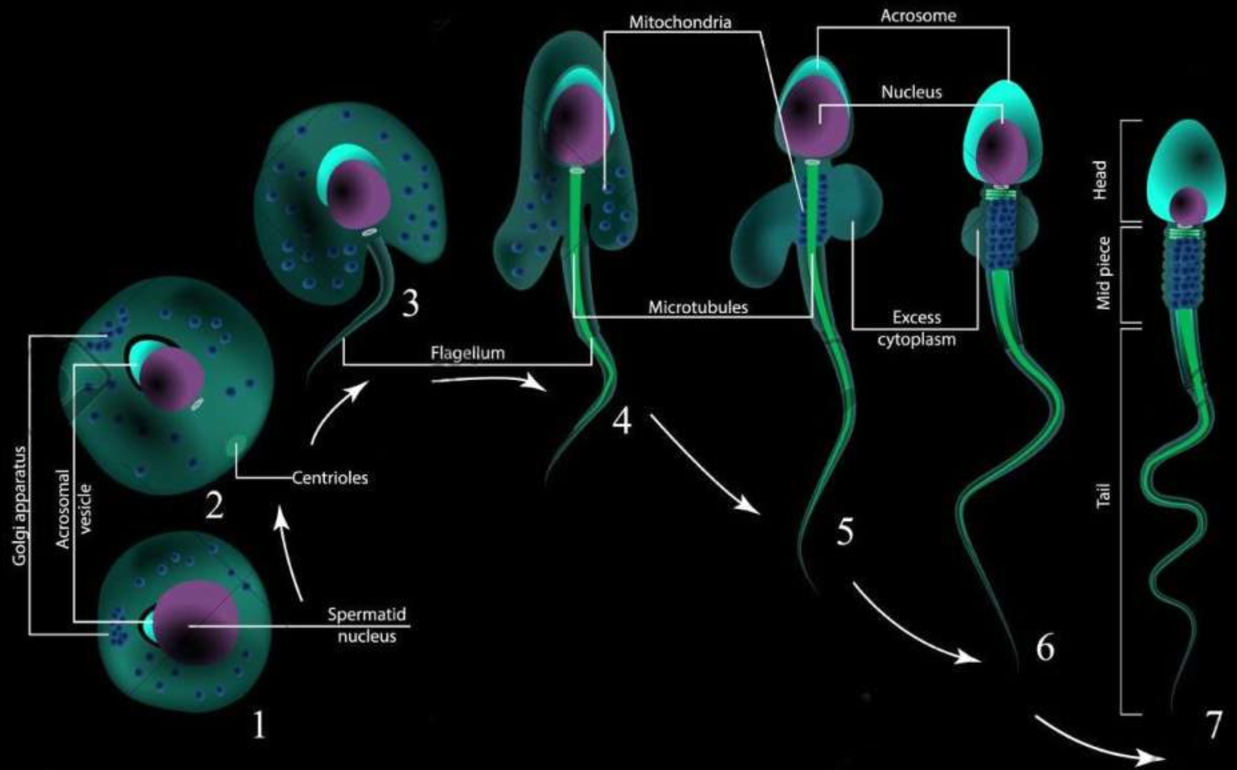



รูปที่ 11-6 แสดงกระบวนการสร้างเชื้ออสุจิ

**2.1.2 การพัฒนาเป็นเชื้ออสุจิ (spermiogenesis)**

สเปอร์มาติดจะพัฒนาเป็นเชื้ออสุจิ โดยกระบวนการที่เรียกว่า spermiogenesis มีการเปลี่ยนแปลงที่นิวเคลียสและไซโตพลาสซึม นิวเคลียสมีการอัดตัวแน่นขึ้นทำให้มีขนาดเล็กลง มีการปล่อยไซโตพลาสซึมออกจากเซลล์ Golgi apparatus จะเปลี่ยนเป็นส่วนอะโครโซม (acrosome) อยู่ที่หัว และ centriole จะเจริญเป็นส่วนหาง

ผลของการพัฒนาทำให้ได้เชื้ออสุจิที่มีรูปร่างยาวขึ้น ส่วนหัวประกอบด้วย chromatin ซึ่งอัดตัวกันแน่น ส่วนของอะโครโซมมีเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ช่วยย่อยเซลล์ที่หุ้มไข่และสลายเมือกในช่องคลอด ส่วนกลางลำตัว มีไมโตคอนเดรียมากมาย เพื่อใช้เป็นแหล่งสร้างพลังงานในการเคลื่อนไหวของอสุจิ ส่วนหางมีโครงสร้างเหมือนซีเลีย (cilia) ประกอบด้วยท่อเล็กๆ ช่วยในการพัดโบกขณะเคลื่อนไหว กระบวนการสร้างเชื้ออสุจิในระยะเริ่มต้นอาศัยทั้งฮอร์โมน testosterone และ FSH แต่ในกระบวนการสร้างในผู้ใหญ่อาศัยเพียง testosterone




รูปที่ 11-7 แสดงขั้นตอนการเจริญของเชื้ออสุจิ

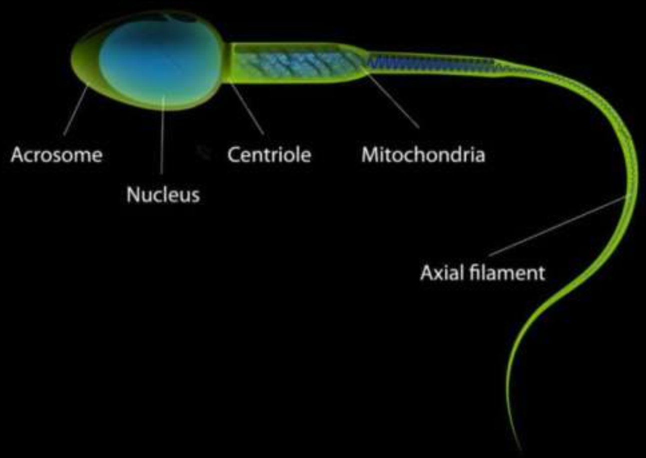
**2.1.3 การเจริญเต็มวัยของอสุจิ (sperm maturation)**

เชื้ออสุจิที่อยู่ในท่อ seminiferous ยังเจริญไม่เต็มที่ ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้เองต้องอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบโดยรอบท่อ ภายใต้อิทธิพลของฮอร์โมน testosterone กับ oxytocin ซึ่งสร้างจาก Leydig cells และแรงดันของเหลวที่สร้างขึ้นในอัณฑะช่วยบีบดันเชื้ออสุจิจากอัณฑะไปยัง epididymis ระหว่างที่เชื้ออสุจิเดินทางอยู่ใน epididymis เป็นเวลาประมาณ 12 วัน เชื้ออสุจิจะเจริญเต็มวัย มีการพัฒนาความสามารถในการเคลื่อนที่ และความสามารถในการผสมกับไข่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ เรียกว่า sperm maturation

### 2.1.4 น้ำอสุจิ (Semen)

น้ำอสุจิเป็นของเหลวที่ประกอบด้วยตัวอสุจิกับส่วนที่เป็นของเหลว ที่หลั่งมาจากท่อพักเชื้ออสุจิ, ต่อมเซมินัลเวสซิคัล, ต่อมลูกหมาก และต่อมเมือกต่างๆ เนื่องจากน้ำอสุจิมีฤทธิ์เป็นด่าง จึงช่วยลดความเป็นกรดในช่องคลอด เมื่อหลั่งออกมาจะเกาะกันเป็นก้อน (coagulum) เนื่องจากเอ็นไซม์จากต่อมลูกหมากทำปฏิกิริยากับ fibrinogen ซึ่งหลั่งออกมาจากต่อม seminal vesicle

coagulum นี้ ช่วยทำให้เชื้ออสุจิยังอยู่ในระยะพัก ไม่มีการเคลื่อนไหว และช่วยกักเชื้ออสุจิไม่ให้ไหลออกจากช่องคลอดเร็วเกินไป การเกาะตัวของน้ำเชื้ออสุจิจะสลายไป หลังจากการหลั่งประมาณ 15-20 นาที โดยเอ็นไซม์ fibrinolysin จากต่อมลูกหมาก




รูปที่ 11-8 แสดงลักษณะของตัวอสุจิ

**คุณสมบัติของน้ำอสุจิ**

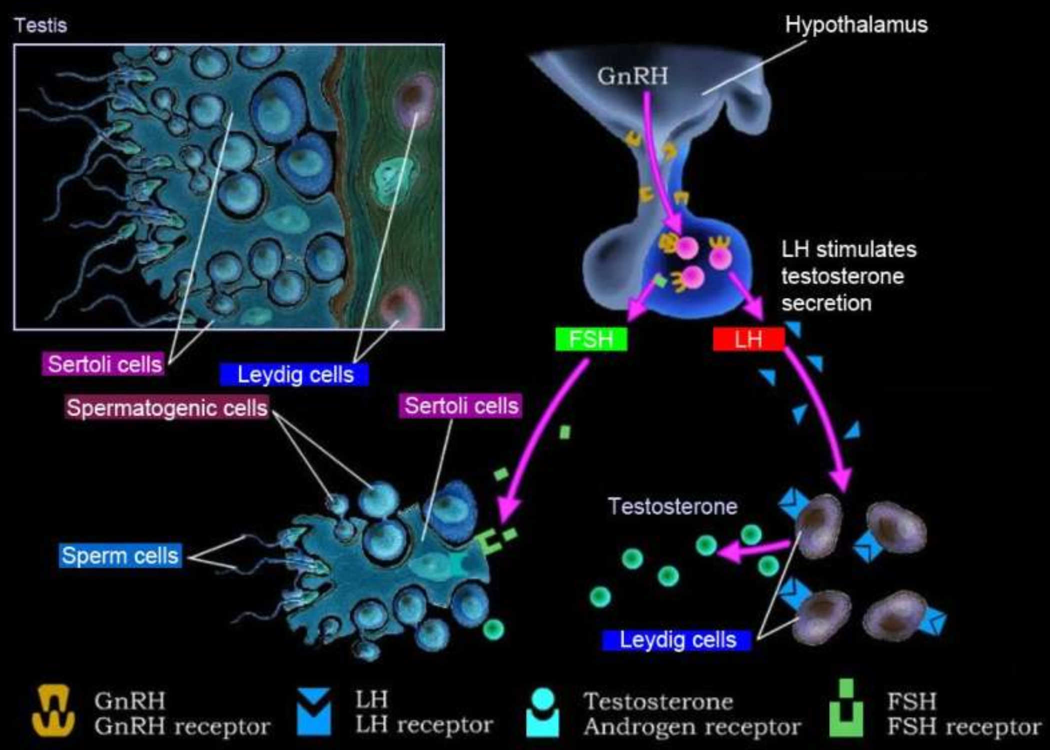
1. มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม
2. มีฤทธิ์เป็นด่าง pH อยู่ระหว่าง 7.5-7.8
3. น้ำอสุจิที่ขับออกมาแต่ละครั้งมีปริมาตรประมาณ 3-3.5 มล. มีเชื้ออสุจิประมาณ 40-100 ล้านตัว/มล. เชื้ออสุจิมีชีวิตอยู่ได้นาน 30-45 ชม.
4. องค์ประกอบที่สำคัญ
   4.1 ต่อมเซมินัลเวซิคัล ผลิตและหลั่ง fructose, prostaglandins, fibrinogen, phosphorylcholine
   4.2 ต่อมลูกหมาก (Prostate gland) หลั่ง fibrinolysin, fibrinogenase. acid phosphatase, zinc
   4.3 บัฟเฟอร์: phosphate และ bicarbonate
   4.4 เอนไซม์: Hyaluronidase

## 2.2 ฮอร์โมนเพศชาย

อัณฑะสร้างฮอร์โมนเพศชายแอนโดรเจน ซึ่งส่วนใหญ่ คือ เทสทอสเตอโรน (testosterone) จากเซลล์ leydig cells ภายใต้การควบคุมของ LH (เทสทอสเตอโรน ส่วนน้อยสร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอก) เริ่มตั้งแต่ LH เข้าจับกับตัวรับสัญญาณ LH receptor ของ Leydig cells ในอัณฑะ เมื่อ LH เข้าจับกับตัวรับสัญญาณ จะกระตุ้น G protein เป็นผลให้มีการเพิ่มการทำงานของ adenylate cyclase จากนั้น cAMP จับกับโปรตีนไคเนส-เอ (protein kinase A) และเร่งให้โปรตีนบางชนิดรับฟอสเฟตจาก ATP และเป็นผลให้มีการสร้างฮอร์โมนเทสทอสเตอโรน

**2.2.1 กลไกการออกฤทธิ์ของเทสทอสเตอโรน (testosterone)**

เทสทอสเตอโรนออกฤทธิ์โดยผ่านขั้นตอนต่างๆ เหมือนกับสเตียรอยด์ฮอร์โมนอื่นๆ เมื่อเทสทอสเตอโรน ในเลือดซึมเข้าสู่เซลล์ของอวัยวะเป้าหมาย เทสทอสเตอโรนจับกับตัวรับสัญญาณ androgen receptor ซึ่งอยู่ในไซโตพลาสซึมทันที หรือถูกเปลี่ยนเป็น dihydrotestosterone (DHT) ก่อน โดยอาศัยเอ็นไซม์ 5α reductase จึงจับกับตัวรับ DHT จับกับตัวรับสัญญาณได้ดีกว่าเทสทอสเตอโรน ถึง 12 เท่า หลังจากนั้น androgen receptor complex จะถูกขนส่งเข้าไปในนิวเคลียส แล้วจับกับตัวรับสัญญาณที่ 2 ซึ่งอยู่บนโครมาติน ในที่สุดมีการสร้าง mRNA และโปรตีนที่จำเป็นต่อการพัฒนาและเจริญเติบโตของอวัยวะ




รูปที่ 11-9 แสดงการหลั่งฮอร์โมนเพศชาย

**2.2.2 หน้าที่ของฮอร์โมนเพศชาย**

ฮอร์โมนเทสทอสเตอโรน มีผลกระตุ้นการเจริญเติบโตและการพัฒนาของอวัยวะเพศ ตั้งแต่เป็นตัวอ่อนในครรภ์ การพัฒนาจะมาสมบูรณ์จนกว่าเด็กชายเข้าสู่วัยแรกรุ่น การทำงานของระบบสืบพันธุ์เพศชายที่เป็นผู้ใหญ่อาศัยเทสทอสเตอโรน ดังนี้

1. กระตุ้นการพัฒนาของอวัยวะภายใน เช่น ต่อมเซมินอลเวซิคัล ท่อพักเชื้ออสุจิ ท่อนำเชื้ออสุจิ
2. กระตุ้นการพัฒนาของอวัยวะภายนอก เช่น การเพิ่มขนาดขององคชาตและอัณฑะ
3. กระตุ้นให้อัณฑะเคลื่อนลงไปในถุงอัณฑะก่อนคลอด
4. กระตุ้นลักษณะเพศชายทุติยภูมิ
    - การกระจายของขน หนวด เครา
    - กล่องเสียงมีขนาดโตขึ้น และสานเสียงหนาตัวทำให้เสียงห้าว
    - กระตุ้นเมตาบอลิซึมของโปรตีน ทำให้มีการเจริญของกล้ามเนื้อ

- เป็นสิว เนื่องจากมีการขับน้ำมันออกมามาก
- กระตุ้นการแบ่งตัวที่ epiphyseal plate ทำให้กระดูกยาวขึ้น
- มีนิสัยก้าวร้าว และมีความคิดแบบผู้ชาย

5. มีความสำคัญและจำเป็นต่อกระบวนการสร้างเชื้ออสุจิ
6. ควบคุมการหลั่งของ GnRh ผ่านทางไฮโปทาลามัส ทำให้ระดับ LH และ FSH ลดลง
7. ควบคุมการสร้างเม็ดเลือด
8. ป้องกันการเกิดกระดูกพรุน

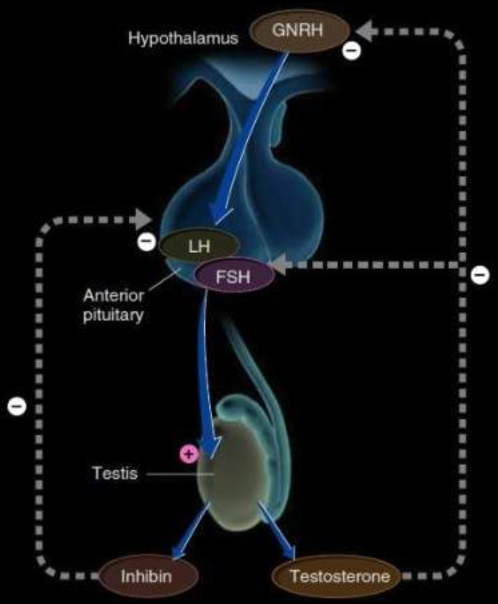
## 2.3 การควบคุมการทำงานของอัณฑะ

**แกนควบคุม Hypothamic – Pituitary – Testis Axis**

การทำงานของอัณฑะอยู่ภายใต้อิทธิพลของ FSH และ LH ซึ่งหลั่งจาก Gonadotroph ของต่อมใต้สมองส่วนหน้า การหลั่งของฮอร์โมนทั้ง 2 ชนิดนี้ ถูกควบคุมโดย GnRH ซึ่งหลั่งจากไฮโปทาลามัส

FSH และ LH มีผลต่อการทำงานของอัณฑะ ต่างกันที่ FSH กระตุ้นการสร้างอสุจิ โดยผ่านการทำงานของ Sertoli cells ในขณะที่ LH ไม่มีผลโดยตรงต่อการสร้างอสุจิ แต่ไปกระตุ้น Leydig cells หลั่งเทสทอสเตอโรน ซึ่งจะไปมีผลต่อการสร้างอสุจิ

การควบคุมการหลั่งเป็นแบบการยับยั้งย้อนกลับ โดยที่ฮอร์โมนเทสทอสเตอโรน ยับยั้งการหลั่ง LH โดยไปมีผลต่อไฮโปทาลามัสและต่อมใต้สมองส่วนหน้า เทสทอสเตอโรนขนาดสูงๆ ก็สามารถยับยั้งการหลั่ง FSH ได้เช่นกัน ส่วนอินฮิบิน (inhibin) ซึ่งหลั่งจาก Sertoli cells มีผลเฉพาะเจาะจงในการยับยั้งการหลั่งของ FSH

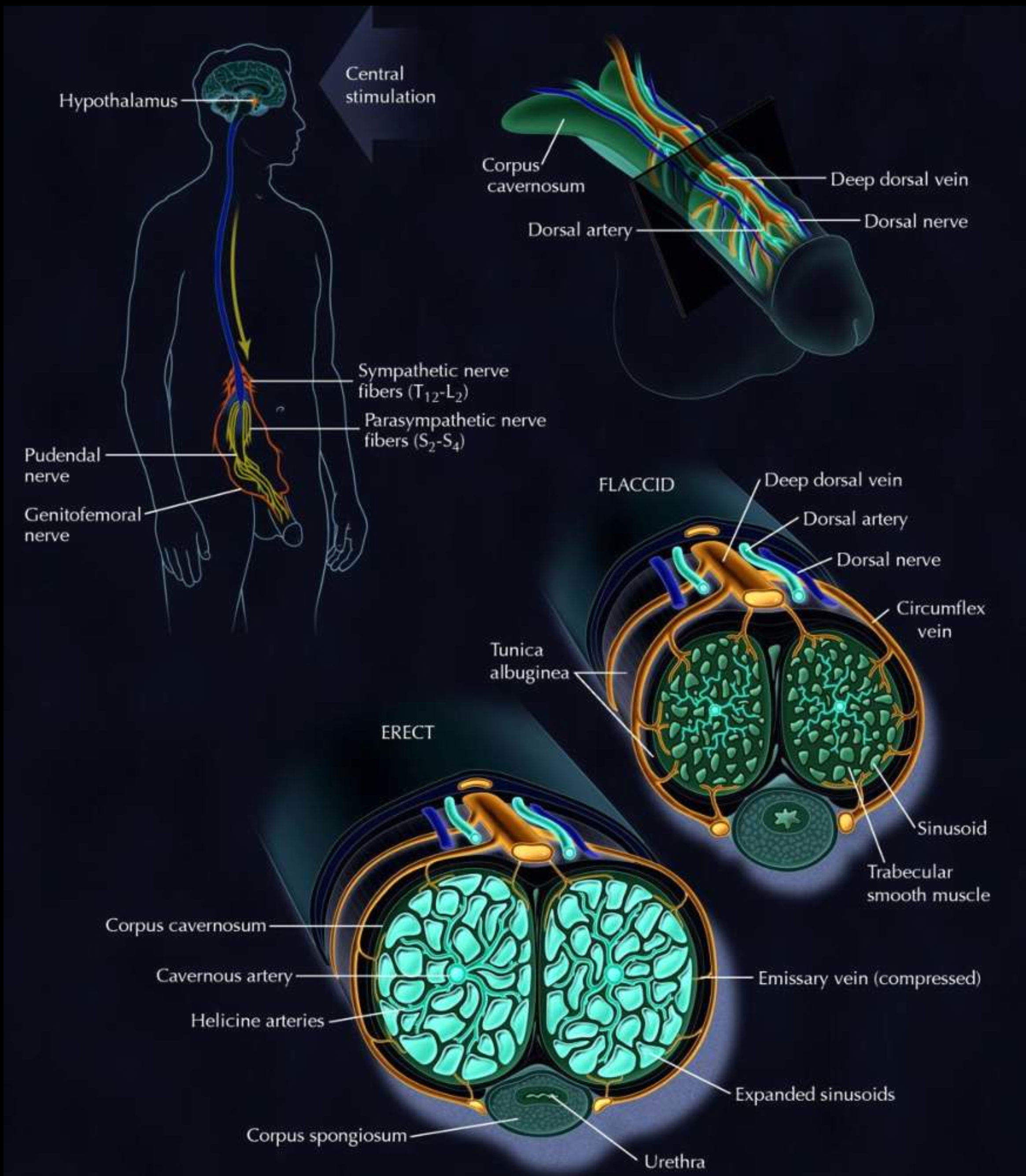



รูปที่ 11-10 แสดงกลไกการควบคุมการหลั่งเทสทอสเตอโรน (Hypothamic – Pituitary – Testis Axis)

## 2.4 การแข็งตัวขององคชาต (Penile erection)

กลไกการแข็งตัวขององคชาตมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบหลอดเลือด ระบบประสาท และระบบฮอร์โมน

**1. ระบบหลอดเลือด** องคชาตประกอบด้วยกล้ามเนื้อในชั้น corpora คือ กล้ามเนื้อ corpora cavernosa 2 มัด และกล้ามเนื้อ corpus spongiosum 1 มัด ซึ่งภายในกล้ามเนื้อทั้ง 3 มัด จะมีโพรงมากมาย สำหรับรับเลือดเข้าไปเพื่อให้เกิดการแข็งตัวขององคชาตและถัดออกมาจะเป็นชั้นของ fibrous tissue membrane ที่เรียกว่า tunica albugina ซึ่งหุ้มชั้น corpora อยู่ เพื่อจำกัดการขยายตัวขององคชาต ในขณะที่องคชาตอ่อนตัว (flaccid state) การไหลเวียนของเลือดระหว่างหลอดเลือดแดงที่นำเลือดเข้าไปใน corpora และหลอดเลือดดำที่นำเลือดออกจาก corpora จะอยู่ในภาวะสมดุล คือ การไหลของเลือดแดง (arterial flow) เท่ากับการไหลของเลือดดำ (venous flow)




รูปที่ 11-11 แสดงการแข็งตัวของอวัยวะเพศชาย

แต่ในขณะที่องคชาตแข็งตัว (erection phase) การไหลเวียนของการไหลของเลือดแดง จะเพิ่มขึ้น ทำให้เลือดไหลเข้าไปในโพรง sinusoids ภายใน corpora มากขึ้นส่งผลให้องคชาตเกิดการขยายตัวได้ และการที่องคชาตจะสามารถคงการแข็งตัวอยู่ได้นั้น เกิดเนื่องมาจากการที่หลอดเลือดดำถูกกดโดย corpora ที่ขยายตัวออก ทำให้การไหลออกของเลือดผ่านหลอดเลือดดำลดลง การไหลเวียนของเลือดเข้าไปใน corpora ถูกกระตุ้นโดย acetylcholine (Ach) ซึ่ง Ach ไม่ได้มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มการไหลของเลือดแดง แต่เป็นสารสื่อประสาทที่ทำงานร่วมกับ สารสื่อประสาทอื่นๆ ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขยายหลอดเลือด

**2. ระบบประสาท** ในบางครั้งการแข็งตัวขององคชาตเกิดจากการทำงานของรีเฟล็กซ์ในอุ้งเชิงกราน (sacral nerve reflex arc) เช่น กรณีที่องคชาตแข็งตัวในขณะนอนหลับ อย่างไรก็ตามการแข็งตัวขององคชาติที่มาจากการกระตุ้นทางเพศนั้น จะถูกควบคุมโดยระบบประสาทส่วนกลาง เช่น การเห็นภาพที่กระตุ้นกามารมณ์ การได้ยินคำพูดไพเราะ การได้กลิ่นจำเพาะบางอย่าง ก็สามารถทำให้องคชาตแข็งตัวได้ ซึ่งในกรณีนี้ สมองจะส่งสัญญาณประสาทผ่านทางไขสันหลังเพื่อไปยังปลายประสาทโคลิเนอร์จิกที่อยู่บริเวณหลอดเลือด corpora ส่งผลให้เกิดการแข็งตัวขององคชาตได้

**3. ระบบฮอร์โมน** ฮอร์โมนเทสทอสเตอโรน มีผลกระตุ้นความต้องการทางเพศในผู้ชาย ซึ่งความเข้มข้นของเทสทอสเตอโรนในเลือดปกติมีค่า 300-1,100 นาโนกรัม/เดซิลิตร ดังนั้น ในผู้ที่มีระดับ testosterone ต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ จึงมักรู้สึกไม่มีแรง อารมณ์ซึมเศร้า และความต้องการทางเพศลดลงเมื่อความต้องการทางเพศลดลง ก็จะส่งผลให้องคชาตไม่แข็งตัว หรือในบางคนอาจไม่มีความต้องการทางเพศเลย

*************************************

เอกสารอ้างอิง

บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy* : *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. ($15^{th}$ ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. ($7^{th}$ ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. ($8^{th}$ ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศหญิง
(Anatomy and Physiology of Female Reproductive system)

**จำนวนชั่วโมง** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศชาย
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกชื่ออวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกเพศหญิงภายนอกได้อย่างถูกต้อง
2. บอกชื่ออวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกเพศหญิงภายในได้อย่างถูกต้อง
3. เปรียบเทียบความแตกต่างกับอวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย
4. อธิบายกายวิภาคของช่องคลอด
5. อธิบายกายวิภาคของมดลูก
6. อธิบายกายวิภาคของปีกมดลูก
7. อธิบายขั้นตอนการสร้างเซลล์ไข่
8. อธิบายกลไกการสร้างรอบเดือน
9. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่รังไข่
10. บอกหน้าที่ของฮอร์โมนเอสโทรเจน
11. บอกหน้าที่ของฮอร์โมนโพรเจสทิน
12. อธิบายกลไกการควบคุมการทำงานของรังไข่

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน

3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจตคติในการเรียนการสอน

# 12

***************************************

# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศหญิง (Anatomy and Physiology of Female Reproductive system)

**ตอนที่ 1 โครงสร้างของระบบสืบพันธุ์เพศหญิง**

1.1 อวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกเพศหญิงภายนอก (External genital organ, Valva)

1.1.1 Mons pubis (หัวหน่าว)

1.1.2 Mabia majora (แคมใหญ่)

1.1.3 Labia minora (แคมเล็ก)

1.1.4 Clitoris (คลิตอริส)

1.1.5 Vestibule (เวสติบลู)

1.1.6 Perineum (ฝีเย็บ)

1.1.7 Bartholin's gland (ต่อมขับน้ำเมือก)

1.1.8 Hymen (เยื่อพรหมจารีย์)

1.1.9 Mammary glands (ต่อมน้ำนม)

1.2 อวัยวะสืบพันธุ์ภายในของเพศหญิงภายใน (Internal female genital organ)

1.2.1 ช่องคลอด (Vagina)

1.2.2 มดลูก (Uterus)

1.2.3 ปกมดลูก หรือ ท่อนำไข่ (uterine tube หรือ fallopian tube หรือ oviduct)

1.2.4 รังไข่ (Ovary)

**ตอนที่ 2 หน้าที่ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง**

2.1 การสร้างเซลล์ไข่ (Oogenesis)

2.2 รอบเดือน

2.3 ฮอร์โมนเพศหญิง

2.3.1 เอสโทรเจน (estrogen)

2.3.2 โพรเจสทิน (Progestins)

2.4 การควบคุมการทำงานของรังไข่

2.5 การตั้งครรภ์ (Pregnancy)

2.6 การคลอด (Parturition)

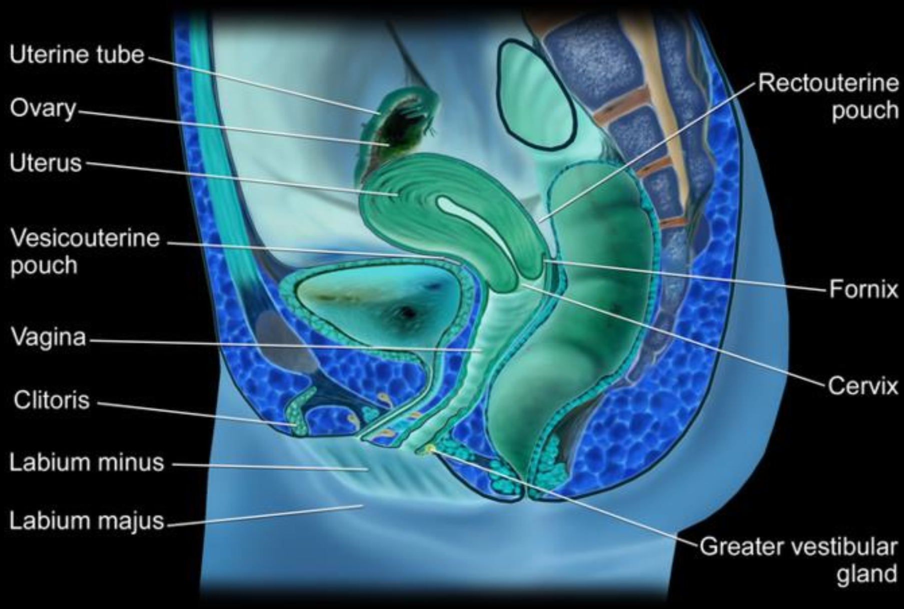
2.7 การให้นมบุตร (Lactation)

# บทที่ 12
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบสืบพันธุ์เพศหญิง
# (Anatomy and Physiology of Female Reproductive system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

## ตอนที่ 1
## โครงสร้างของระบบสืบพันธุ์เพศหญิง

ระบบสืบพันธุ์เพศหญิงประกอบด้วยอวัยวะซึ่งส่วนใหญ่อยู่ภายในร่างกายและรอบๆ บริเวณเชิงกรานซึ่งทำหน้าที่ในกระบวนการสืบพันธุ์ ระบบสืบพันธุ์เพศหญิงประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ช่องคลอดทำหน้าที่รองรับอสุจิจากเพศชาย, มดลูกซึ่งช่วยรองรับทารกในครรภ์ และรังไข่ทำหน้าที่ผลิตไข่ เต้านมก็เป็นอวัยวะสืบพันธุ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในระยะการดูแลทารก




รูปที่ 12-1 แสดงโครงสร้างของระบบสืบพันธุ์เพศหญิงทางด้านข้าง

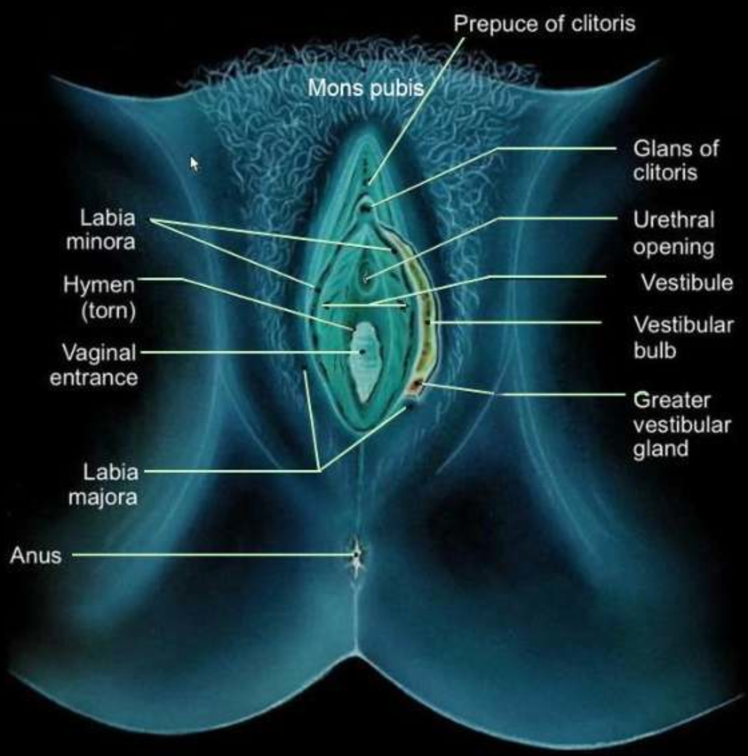
ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

### 1.1 อวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกเพศหญิงภายนอก (External genital organ, Valva)

อวัยวะสืบพันธุ์ของเพศหญิง ประกอบด้วย หัวหน่าว (mons pubis) แคมใหญ่ (labia majora) แคมเล็ก (labia minora) คลิตอริส (clitoris) เวสติบลู (vestibule) ต่อมน้ำเมือก (Bartholin gland) เยื่อพรหมจารีย์ (hymen) และเต้านมและต่อมน้ำนม (breast and mammary gland)

### 1.1.1 Mons pubis (หัวหน่าว)

หัวหน่าวอยู่ใต้ท้องน้อยระหว่างขาหนีบทั้งสองข้าง มีลักษณะเป็นผิวหนังนูนที่เกิดจากเนื้อเยื่อไขมันจำนวนมาก เมื่อย่างเข้าสู่วัยรุ่นจะมีขนปกคลุม ขนมีลักษณะหยิกงอ สีดำ เส้นใหญ่ ยาว มีลักษณะการปกคลุมรูปสามเหลี่ยมตามลักษณะของหัวหน่าว ลักษณะและปริมาณแตกต่างกันในแต่ละคนขึ้นอยู่กับพันธุกรรม




รูปที่ 12-2 แสดงลักษณะอวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกเพศหญิง

### 1.1.2 Mabia majora (แคมใหญ่)

แคมใหญ่เป็นกลีบของเนื้อนูนยาวๆ ซึ่งอยู่ข้างหน้าติดต่อกับหัวหน่าว แล้วทอดไปข้างหลังบริเวณฝีเย็บ มี 2 กลีบ ใต้ผิวหนังจะมีเนื้อเยื่อไขมัน ต่อมไขมัน กล้ามเนื้อเรียบ เส้นประสาท และหลอดเลือด ในผู้ใหญ่ด้านนอกของแคมใหญ่มีขน แต่ด้านในไม่มีขน ปกติในเพศหญิงแคมใหญ่จะปิดบริเวณปากช่องคลอดมิดชิด เพื่อป้องกันอวัยวะต่างๆ ที่อยู่ภายใน อวัยวะนี้เทียบเท่ากับถุงอัณฑะของเพศชาย

### 1.1.3 Labia minora (แคมเล็ก)

แคมเล็กเป็นกลีบนูนเล็กสีแดง เล็กกว่าแคมใหญ่ ขนานกับด้านในของแคมใหญ่ มี 2 กลีบ ไม่มีขน ด้านบนจะประกอบขึ้นเป็นหนังหุ้ม clitoris เรียกว่า prepuce of clitoris จากนั้นทอดลงมาด้านล่างและหายไปในส่วนของแคมใหญ่ แคมเล็กประกอบด้วยหลอดเลือดและต่อมน้ำมันมากมาย มีปลายประสาทรับความรู้สึก แคมเล็กทำหน้าที่ล้อมรอบและปกปิดรูเปิดของท่อปัสสาวะและช่องคลอด

### 1.1.4 Clitoris (คลิตอริส)

เป็นก้อนเนื้อเล็กๆ ตั้งอยู่ตอนบนของแคมเล็ก ยาวประมาณ 2.5 ซม. เป็นอวัยวะที่สามารถแข็งตัวได้ (erectile organ) มีหนังหุ้มเรียกว่า Prepuce มีหลอดเลือด เส้นประสาทมาเลี้ยงมาก จะไวต่อความรู้สึกทางเพศ คล้ายองคชาตของเพศชาย

**1.1.5 Vestibule (เวสติบลู)**

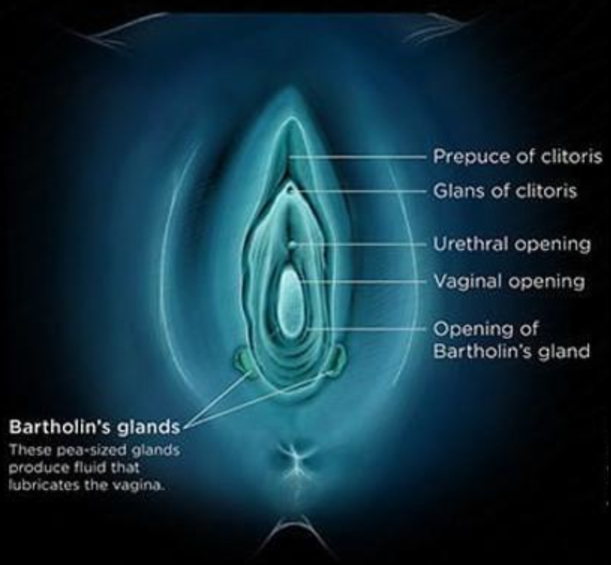
เป็นช่องระหว่างแคมเล็กทั้ง 2 กลีบ บริเวณนี้จะมีช่องคลอด (Vagina) รูเปิดของท่อปัสสาวะ (Urethral orifice) และท่อของต่อมขับน้ำเมือก (Bartholin duct) มาเปิด

**1.1.6 Perineum (ฝีเย็บ)**

เป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างช่องคลอดกับทวารหนัก สามารถยืดหดได้มากโดยเฉพาะเวลาคลอดบุตร ทำหน้าที่ช่วยพยุงอวัยวะในอุ้งเชิงกรานไม่ให้เคลื่อนออกมาภายนอก ฝีเย็บประกอบด้วยกล้ามเนื้อลายและกล้ามเนื้อหูรูดทวารหนัก

**1.1.7 Bartholin's gland (ต่อมขับน้ำเมือก)**

เป็นต่อมรูปไข่มีขนาดเท่าเมล็ดถั่วเขียว อยู่บริเวณปากช่องคลอดทั้งฝั่งซ้ายและขวา มีขนาดประมาณ 0.5-1.5 เซนติเมตร มีท่อยาวประมาณ 1.5-2 ซม. มาเปิดที่เวสติบลู ทางด้านข้างของช่องคลอด ต่อมนี้มีหน้าที่ขับน้ำเมือกสีเหลืองข้นออกมาช่วยหล่อลื่นช่องคลอดระหว่างร่วมเพศ เมื่อมีการกระตุ้นให้เกิดอารมณ์ทางเพศ




รูปที่ 12-3 แสดงต่อม Bartholin's gland

**1.1.8 Hymen (เยื่อพรหมจารีย์)**

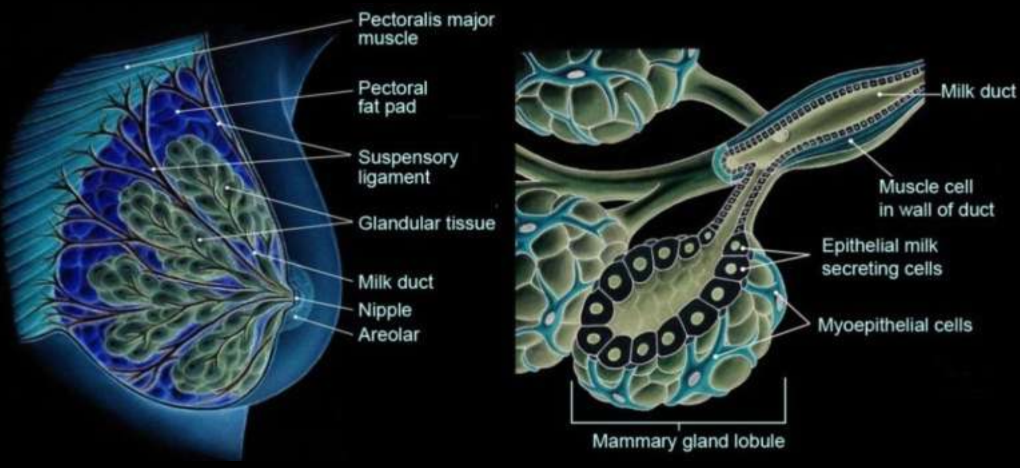
เป็นเยื่อที่ยืดหดได้ปิดปากช่องคลอดเกือบหมด เว้นช่องเล็กๆไว้ตรงกลาง เพื่อให้ประจำเดือนผ่าน ภายหลังร่วมเพศเยื่อนี้จะฉีกขาด หรือเล่นกีฬาบางประเภทก็ทำให้เยื่อนี้ฉีกขาดได้ บางรายเยื่อพรหมจารีย์อาจปิดช่องคลอดไว้หมดทำให้ประจาเดือนไหลออกมาภายนอกไม่ได้จะต้องทำการผ่าตัด

**1.1.9 Mammary glands (ต่อมน้ำนม)**

ต่อมน้ำนมอยู่ในเต้านม (breast) เป็น modified sweat gland ซึ่งสามารถสร้างน้ำนมได้ เต้านมวางบนพังผืดชั้นลึกที่คลุมกล้ามเนื้อ pectoralis major และ minor โดยมีขอบเขตอยู่ระหว่าง กระดูกซี่โครงที่ 2 ถึงซี่โครงที่ 6 และจากขอบของกระดูกหน้าอก ถึงขอบหน้าของรักแร้ ขนาดของเต้านมไม่แน่นอนขึ้นกับปริมาณไขมัน แต่จำนวนต่อมน้ำนมจะไม่ค่อยต่างกัน

เต้านมแต่ละข้างจะมีรูปร่างครึ่งทรงกลม ตรงกลางของเต้านม คือ หัวนม เรียกว่า nipple เป็นบริเวณที่มีท่อของต่อมน้ำนมมาเปิดประมาณ 15-20 ท่อรอบ ๆ หัวนมจะล้อมรอบด้วยผิวผนังสีคล้ำ เรียกว่า areola ซึ่งจะใหญ่และคล้ำขึ้นเวลาที่มีการตั้งครรภ์

ต่อมน้ำนมในเต้านมแต่ละข้างประกอบด้วย compound areolar glands จำนวน 15-20 lobes และมีท่อเรียกว่า lactiferous duct นำน้ำนมมาที่หัวนม ก่อนที่จะถึงหัวนมจะขยายออก เรียกว่า lactiferous sinus




รูปที่ 12-4 แสดงกายวิภาคของเต้านมและต่อมน้ำนม

**จุลกายวิภาคของต่อมน้ำนม**

ต่อมน้ำนมมีการเปลี่ยนแปลงได้ ในขณะที่ไม่ได้ตั้งครรภ์ เรียกว่าอยู่ในระยะ resting หรือ inactive จะพบท่อ (duct) เป็นจำนวนมาก ถุงน้ำนม (alveoli) จะมีขนาดเล็ก ในระยะปลาย ๆ รอบประจำเดือน จะพบว่ามีเลือดเข้ามาหล่อเลี้ยงมากทำให้เต้านมมีขนาดโตขึ้น ในระยะที่มีการตั้งครรภ์ต่อมน้ำนมจะมีการเปลี่ยนแปลงจะมีถุงน้ำนมเพิ่มขึ้น เนื้อต่อมจะมากขึ้นและขยายใหญ่ขึ้น ในระยะปลายของการตั้งครรภ์จะพบการหลั่งน้ำขุ่น ๆ เรียกว่า colostrum ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนและแลกโตสจำนวนมาก โดยไม่มีไขมันปนอยู่เลย นอกจากนี้ยังมีภูมิคุ้มกันจำนวนมาก ซึ่งมีประโยชน์ต่อทารกในแง่ของการต้านทานโรค

ในระยะที่มีการให้นมบุตร ต่อมน้ำนมก็จะเริ่มสร้างน้ำนม ซึ่งจะประกอบด้วยไขมัน น้ำตาล และโปรตีน ถุงน้ำนมต่าง ๆ จะเริ่มขยายใหญ่ขึ้น และมีน้ำนมอยู่ภายใน หลังจากที่หยุดให้นมบุตร ต่อมจะเริ่มมีขนาดเล็กลงเข้าสู่ปกติ ภายหลังจากที่เข้าสู่วัยหมดประจำเดือน (menopause) ต่อมน้ำนมก็จะเล็กลงไปเหลือแต่ท่อเท่านั้น

## 1.2 อวัยวะสืบพันธุ์ภายในของเพศหญิงภายใน (Internal female genital organ)

ประกอบดวย ชองคลอด (vagina) มดลูก (uterus) ปกมดลูก (uterine tube or fallopian tube) และรังไข (ovaries)

### 1.2.1 ช่องคลอด (Vagina)

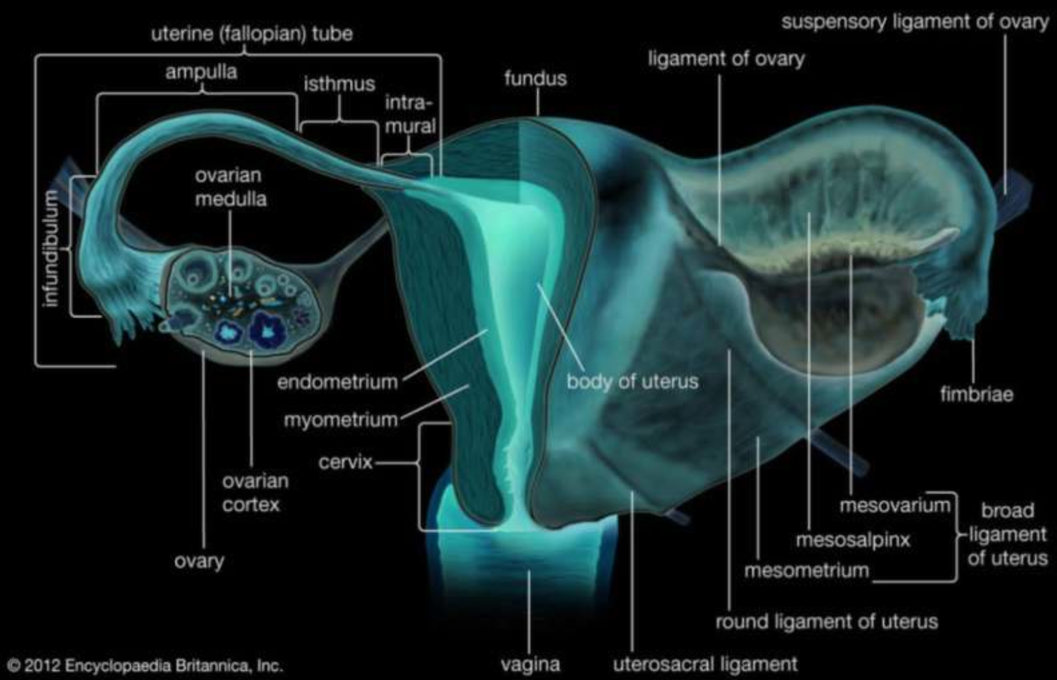
เป็นท่อกล้ามเนื้อ ยาวประมาณ 8-10 ซม. (3-4 นิ้ว) วางตัวอยูหลังกระเพาะปสสาวะ อยูหนาลำไสตรงและทวารหนัก ในเวลาปกติช่องคลอดจะแฟบ ตรงบริเวณช่องเปิดทางปลายจะมีเยื่อกั้น เรียกว่า **hymen** ส่วนของช่องคลอดที่อยู่รอบ ๆ ปากมดลูก เรียกว่า **fornix**

ผนังของชองคลอดมี 3 ชั้น คือชั้น mucosa, muscularis และชั้น adventitia โดยชั้น mucosa บุดวย stratified squamous epithelium ชั้นนี้พับยนเปนทางยาวเรียกวา Rugae ชั้น submucosa บรรจุหลอดเลือดจำนวนมาก เมื่อมีการกระตุนจะมีการขยายตัวของหลอดเลือดเหลานี้ทำใหชองคลอดหนาตัวขึ้นได สวนชั้น muscularis เปนชั้นกลามเนื้อเรียบ แตบริเวณใกลกับรูเปดมีหูรูดที่เปนกลามเนื้อลาย จึงทำใหเราขมิบชองคลอดได้ โดยปกติพื้นที่ภายในของชองคลอดจะแคบ แตสามารถขยายได เมื่อรวมเพศหรือคลอดบุตร ภายในชองคลอดไมมีตอม แตมีสารหลอลื่นขณะรวมเพศจากตอมของปากมดลูก สภาวะทั่วไปของชองคลอดจะเปนกรดเพื่อปองกันเชื้อโรคตางๆ แตอาจเปนอันตรายตออสุจิ ดังนั้นสารคัดหลั่งที่เปนดางของเพศชายจะชวยลดความเปนกรด ช่องคลอดทำหน้าที่เป็นทางเขาขององคชาตในขณะรวมเพศ ทางผ่านของตัวอสุจิเข้าสู่มดลูก เป็นทางออกของทารกเมื่อครบกำหนด และเปนทางออกของเลือดระดู

**1.2.2 มดลูก (Uterus)**

เป็นอวัยวะที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ มีโพรงอยู่ภายในตรงกลาง รูปร่างเป็นเหมือนลูกแพร์ มีขนาดประมาณ 3X2X1 นิ้ว และมดลูกสามารถขยายได้ 3 - 6 เท่าเมื่อตั้งครรภ์ ถูกหุ้มด้วยเยื่อบุช่องท้องทั้ง 2 ด้านทางด้านข้างของมดลูก เยื่อบุช่องท้องจะมาชนกันและติดแน่นเป็นแผ่นเดียวกัน เรียกว่า **Broad ligament** นอกจากนี้ที่มุมบนของมดลูกทางด้านหน้าจะมีเอ็นติดอยู่ เรียกว่า **round ligament of uterus** ซึ่งจะเป็นตัวรั้งมดลูกให้เอียงมาทางด้านหน้า เอ็นอันนี้จะทอดมาทางผนังด้านข้างของช่องเชิงกรานผ่านผนังหน้าท้องออกมายึดกับเนื้อเยื่อบริเวณแคมใหญ่ (labia majora) ของอวัยวะสืบพันธุ์ภายนอก ด้านหน้าของมดลูกคือกระเพาะปัสสาวะ ส่วนด้านหลังคือลำไส้ใหญ่ ส่วน rectum ส่วนของช่องเชิงกรานที่อยู่ระหว่างมดลูกและ rectum เรียกว่า **Rectouterine pouch หรือ Cul de sac**

ส่วนบนหรือยอดมดลูก (fundus) ถัดลงมาจะแคบลงเรียกว่า ตัวมดลูก (body) ซึ่งจะมาสิ้นสุดตรงบริเวณปากมดลูก (cervix) ตรงบริเวณรอยคอดระหว่าง body และ cervix เรียกว่า isthmus ช่องว่างภายในมดลูกเรียกว่า uterine cavity ในหญิงที่ยังไม่เคยตั้งครรภ์มดลูกจะมีรูปร่างค่อนข้างแบน โพรงภายในมดลูกจะเป็นช่องแคบ ๆ ในท่าปกติมดลูกจะงอพับมาทางด้านหน้าและทำมุมประมาณ 110 องศากับช่องคลอด



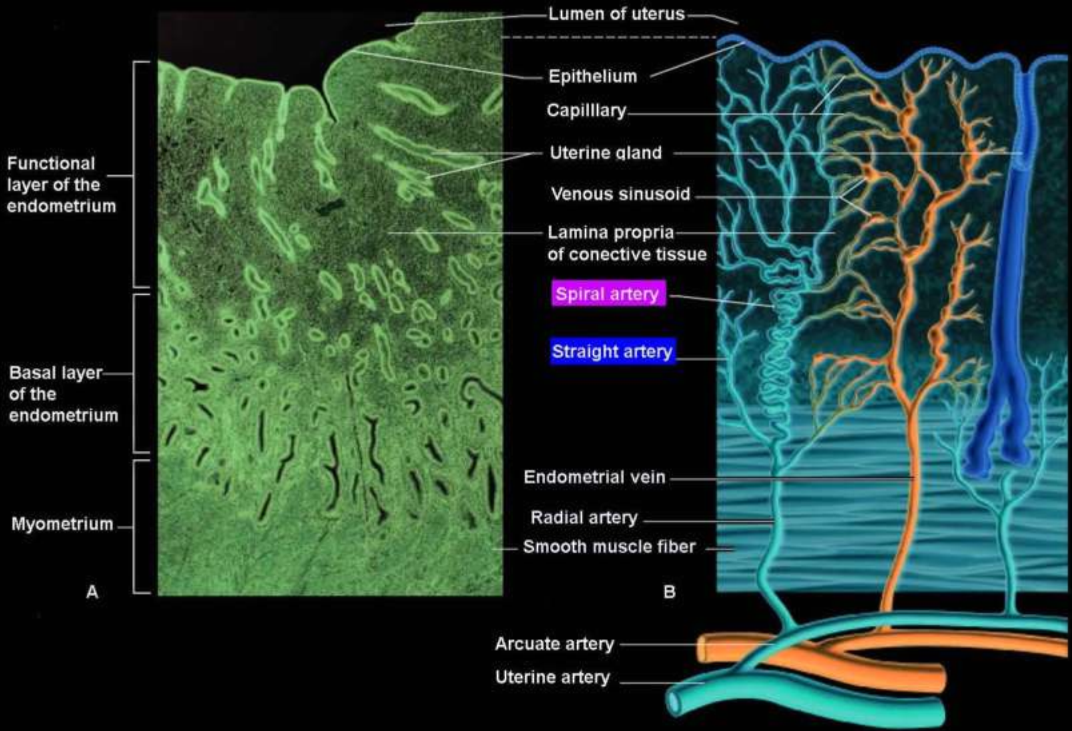

รูปที่ 12-5 แสดงอวัยวะสืบพันธุ์เพศหญิง และการเรียกชื่อส่วนต่างๆ ของอวัยวะนั้น

ผนังของมดลูก แบ่งออกเป็น 3 ชั้น เรียงจากนอกเข้าไปข้างใน ดังนี้

**1) ชั้น serosa หรือ perimetrium** ประกอบด้วยเซลล์ชั้นเดียว และติดต่อเป็นผืนเดียวกับเยื่อบุช่องท้อง

**2) ชั้นกล้ามเนื้อ หรือ myometrium** เป็นชั้นที่หนาที่สุด ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบหนา 12-15 มม. ชั้นในสุดกล้ามเนื้อเรียงตัวตามยาว ชั้นกลางเรียงตัวเป็นวงกลมและเฉียง ๆ ที่วงชั้นในจะเรียงตัวตามยาว ชั้นกล้ามเนื้อของมดลูกจะบางลงในขณะตั้งครรภ์ เนื่องจากมดลูกขยายตัวมากขึ้น

**3) ชั้นในสุดเรียกว่า endometrium** เป็นชั้นที่มีลูกการเปลี่ยนแปลงตามรอบเดือนชั้นนี้ประกอบด้วยเนื้อบุผิวชนิด simple columnar เนื้อบุผิวนี้จะหวำตัวลงไปประกอบขึ้นเป็นต่อมเรียก uterine gland ชั้น endometrium แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ basal layer และ functional layer ชั้น basal layer ได้รับการหล่อเลี้ยงจาก straight arteries ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงในรอบเดือน ส่วนชั้น functional layer เลี้ยงโดย spiral arteries ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตามรอบเดือน รูปที่ 12-6




รูปที่ 12-6 แสดงหลอดเลือด straight artery และ spiral artery ที่ไปเลี้ยงผนังของมดลูก

### 1.2.3 ปกมดลูก หรือ ท่อนำไข่ (uterine tube หรือ fallopian tube หรือ oviduct)

ปกมดลูก หรือ ท่อนำไข่ มี 2 ท่อ มีความยาวประมาณ 10 ซม. วางอยู่ที่ขอบบนของ Broad ligament ส่วนของ broad ligament ที่ติดกับท่อนำไข่มีชื่อเรียกว่า mesosalpinx ปลายด้านในของท่อนำไข่จะต่อกับมดลูก ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะเปิดเข้าสู่ช่องเชิงกราน มีลักษณะเป็นปากแตร เรียกว่า **Fimbria**

Fimbria ทำหน้าที่โบกไข่เข้าสู่ท่อมดลูก ข้อเสียของการที่ปลายท่อนำไข่เปิดเข้าสู่ช่องเชิงกรานคือเป็นทางนำเชื้อจากภายนอกร่างกายเข้าสู่ช่องเชิงกราน ทำให้เกิดการอักเสบหรือติดเชื้อของปีกมดลูก

ท่อนำไข่ แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

**1) Isthmus** เป็นส่วนที่ติดกับมุมบนของมดลูก เป็นส่วนที่แคบมากและสั้นสุด

**2) Ampulla** เป็นส่วนที่กว้างและยาวที่สุด เป็นบริเวณที่เหมาะสำหรับการปฏิสนธิ

**3) Infundibulum** เป็นส่วนปลายทางด้าน ข้างโค้งไปสู่รังไข่ ตอนปลายจะแตกเป็นแฉกๆ เรียกว่า Fimbriae

### 1.2.4 รังไข่ (Ovary)

รังไข่ทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ สร้างเซลล์ไข่ (Oogenesis) และสร้างฮอร์โมนเพศหญิง ผู้หญิงสร้างเซลล์ไข่เดือนละ 1 ใบจากเซลล์ไข่ตั้งต้นโอโอโกเนีย (Oogonia) ซึ่งมีจำนวนคงที่

รังไข่มี 1 คู่ รูปร่างรีแบน ขนาดยาว 2.5-5 ซม. กว้าง 1.5-3 ซม. และหนา 0.6-1.5 ซม. รังไข่จะอยู่ใน แอ่งชื่อ ovarian fossa แขวนจากด้านข้างของผนังเชิงกรานโดย suspensory ligament of ovary ซึ่งภายใน ligament นี้จะมีหลอดเลือด หลอดน้ำเหลือง และเส้นประสาทที่มาสู่รังไข่ รังไข่จะยึดติดกับมดลูกด้วย ovarian ligament นอกจากนี้ยังห้อยติดกับเยื่อบุช่องท้องที่คลุมมดลูกไว้ ด้วย mesovarium

รังไข่จะถูกปกคลุมด้วยเยื่อบุผิวชนิดพิเศษ เรียกว่า germinal layer หรือ germinal epithelium มีลักษณะเป็นเซลล์เยื่อบุรูปร่างลูกบาศก์ ใต้ต่อชั้นนี้เป็นชั้น stroma ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อยึดต่อและไข่ (ova) ในระยะต่าง ๆ

เนื้อรังไข่จะมี 2 ชั้น คือ

**1. รังไข่ชั้นนอก (cortex)** ประกอบด้วยถุงไข่ที่เจริญอยู่ในชั้นต่างๆ ได้แก่ ถุงไข่อ่อน (primodial follicle) ถุงไข่ปฐมภูมิ (primary follicle) ถุงไข่ทุติยภูมิ (secondary follicle) และถุงไข่ที่เจริญเต็มที่หรือถุงไข่กราเฟียน (graffian follicle) รวมทั้ง คอร์ปัสลูเทียม (corpus luteum)

**1.1 ถุงไข่อ่อน (primodial follicle)** ประกอบด้วยเซลล์ไข่ (oocyte) ซึ่งถูกล้อมรอบด้วยเซลล์แกรนูโลซา (granulosa) เซลล์อยู่ในระยะ prophase ของการแบ่งตัวแบบไมโอซิส ครั้งที่ 1 และไม่เจริญต่อจากขั้นนี้ เนื่องจากสารยับยั้งการเจริญ (meiosis inhibiting factor) ซึ่งหลั่งจากเซลล์แกรนูโลซา การแบ่งตัวจะดำเนินการต่อเมื่อเข้าสู่วัยแรกรุ่นเท่านั้น

**1.2 ถุงไข่ปฐมภูมิ (primary follicle)** เซลล์ไข่เจริญขึ้น ถูกล้อมรอบด้วยเซลล์แกรนูโลซา เซลล์แกรนูโลซานี้มีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วและมีตัวรับสัญญาณ FSH (FSH receptor) เซลล์ไข่หลั่งสารไกลโคโปรตีน ทำให้เกิดชั้นโซนา เพลลูซิดา (zona pellucida) แยกเซลล์ไข่ออกจากเซลล์แกรนูโลซา

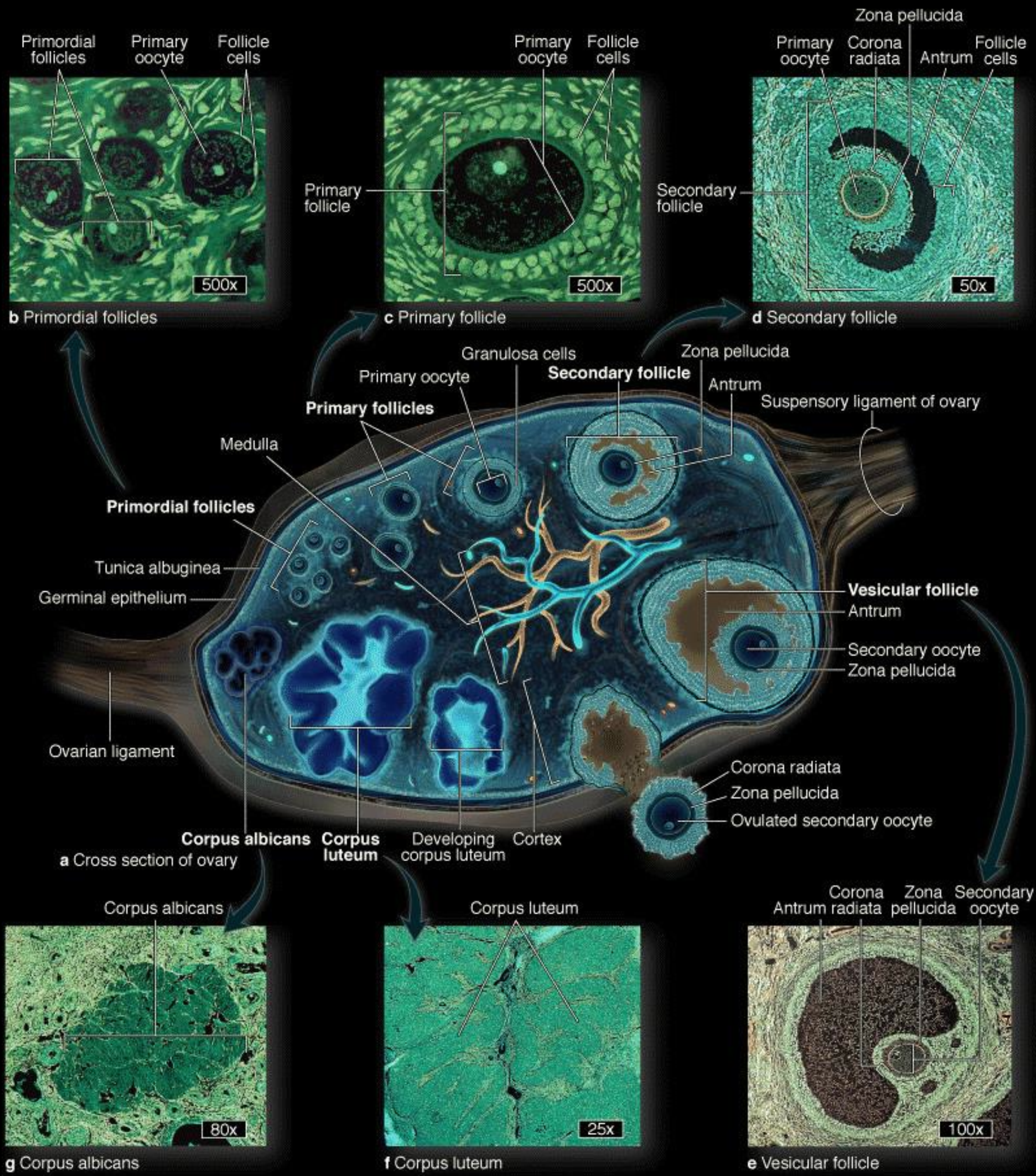
**1.3 ถุงไข่ทุติยภูมิ (secondary follicle)** เซลล์ไข่จะเจริญเติบโตเต็มที่ เซลล์แกรนูโลซามีหลายชั้น เซลล์มีเซนไคม์ (mesenchymal cells) ที่ล้อมรอบถุงไข่อ่อน มีเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ทีคา (theca) ในชั้นทีคานี้มีตัวรับสัญญาณของ LH (LH receptor) และจะมีเลือดมาเลี้ยงเซลล์ไข่ และเซลล์ไข่ที่อยู่ในถุงไข่นี้แบ่งตัวแบบไมโอซิสต่อ และอยู่ในขั้นเมทาเฟส I (metaphase I)

**1.4 ถุงไข่กราเฟียน (graffian follicle)** เป็นถุงไข่ที่เจริญเต็มที่ เซลล์แกนูโลซาเพิ่มจำนวนมากขึ้นและมีการสะสมของของเหลวในถุงไข่ (follicular fluid) ทำให้เกิดเป็นของเหลวตรงกลาง เรียกว่า แอนทรัม (antrum) เซลล์ถุงไข่กราเฟียนแบ่งตัวแบบไมโอซิสถึงขั้นเมทาเฟส II (metaphase II) และจะไม่เจริญต่อจนกว่าจะได้รับการผสมกับอสุจิ

ของเหลวในถุงไข่ (follicular fluid) ประกอบด้วย โปรตีน ฮอร์โมนเพศ (FSH และ LH) และเอ็นไซม์ต่างๆ เช่น พลาสมิน (plasmin) คอลลาจิเนส (collagenase) เปปทิเดส (peptidase) และ ไฮยาลูโรนิเดส (hyaluronidase) ที่สำคัญ คือ พลาสมิน และคอลลาจิเนส ปัจจุบันเชื่อว่าเป็นเอ็นไซม์ที่ทำให้ถุงไข่อ่อนตัว เป็นผลให้เกิดการตกไข่

เด็กแรกคลอด รังไข่จะมีถุงไข่อ่อนประมาณ 2 ล้านใบ แต่เนื่องจากไข่ไม่มีการแบ่งตัวและมีการฝ่อเกิดขึ้นตลอดเวลา เมื่อเข้าสู่วัยรุ่น จะมีไข่เหลือประมาณ 4 แสนใบ จากจำนวนนี้ทั้งหมดจะมีเพียง 400 ใบเท่านั้นที่เจริญไปเป็นถุงไข่กราเฟียน ในแต่ละเดือนจะมีการตกไข่เพียง 1 ใบ จากรังไข่ทั้ง 2 ข้างสลับกัน

**2. รังไข่ชั้นใน (medulla)** มีหลอดเลือดและเส้นประสาทมาเลี้ยง




รูปที่ 12-7 แสดงรังไข่แบ่งเป็น 2 ซีก แสดงชั้น cortex และ medulla รังไข่ถูกคลุมด้วย germinal epithelium ในชั้น cortex จะพบ follicles ในระยะต่างๆ

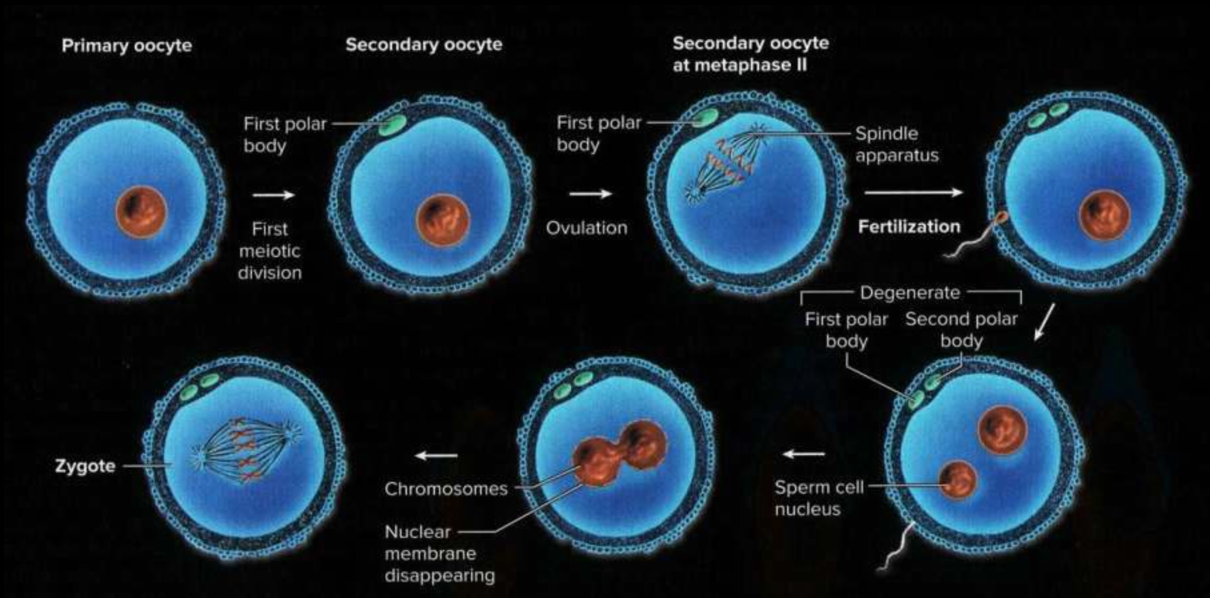
************************************

## ตอนที่ 2
## หน้าที่ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง

### 2.1 การสร้างเซลล์ไข่ (Oogenesis)

เซลล์โอโอโกเนีย (oogonia) ทั้งหมดในรังไข่ของตัวอ่อนในครรภ์ จะพัฒนาเป็นเซลล์ไข่ปฐมภูมิ (primary oocyte) จากนั้นเริ่มมีการแบ่งตัวแบบไมโอซิส (Meiosis) ครั้งที่ 1 โดยการสร้าง DNA เพิ่มขึ้น (4n) เมื่อคลอดเซลล์ไข่อยู่ในขั้นปฐมภูมิซึ่งมีโครโมโซม 46 อัน แต่ละโครโมโซมมี 2 โครมาทิด เซลล์จะหยุดการเจริญ ตลอดวัยเด็ก

เมื่อถึงวัยแรกรุ่น รังไข่เริ่มทำงาน เซลล์ไข่ปฐมภูมิแบ่งตัวต่อให้เซลล์ไข่ทุติยภูมิ (secondary oocyte) ซึ่งมีโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง (23 โครโมโซม 46 โครมาทิด, 2nDNA) และโพลาร์บอดีอันที่ 1 (first polar body) การแบ่งตัวแบบไมโอซิสครั้งที่ 2 เกิดขึ้นขณะที่เซลล์อยู่ในท่อนำไข่หลังจากตกไข่ และได้รับการผสมกับเชื้ออสุจิแล้ว เมื่อการแบ่งตัวแบบไมโอซิสครั้งที่ 2 เสร็จสมบูรณ์จะได้ไข่ที่เจริญเต็มที่ (mature ovum) ซึ่งมีโครโมโซม 23 อันและโพลาร์บอดีอันที่ 2 (second polar body)




รูปที่ 12-8 แสดงพัฒนาการของการสร้างเซลล์ไข่

### 2.2 รอบเดือน

ระบบสืบพันธุ์เพศหญิงมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นวงจรหรือเป็นรอบ แต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 28 วัน การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดที่รังไข่ มดลูก และอวัยวะเพศส่วนอื่นๆ เช่น ปากมดลูก โดยเฉพาะที่มดลูกมีการสลายเซลล์ที่บุผนังมดลูกทำให้เกิดเป็นประจำเดือน รอบเดือนนี้เป็นผลของการออกฤทธิ์ร่วมระหว่างฮอร์โมนจากไฮโปทาลามัส ต่อมใต้สมองส่วนหน้า และรังไข่ รอบเดือนนี้เริ่มนับวันที่มีประจำเดือนวันแรกเป็นวันที่ 1

#### 2.2.1 การเปลี่ยนแปลงที่รังไข่ (Ovarian cycle)

การเจริญของถุงไข่ (follicle) ซึ่งมีเซลล์ไข่อยู่ภายใน เรียกว่า **Folliculogenesis** แบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ ระยะฟอลิคูลาร์ (Follicular phase) ได้แก่ ช่วง 14 วันแรกของรอบเดือน และระยะลูเทียม (Luteal phase) เริ่มหลังจากการตกไข่จนกระทั่งมีการสลายตัวของคอปัสลูเทียมซึ่ง ได้แก่ 14 วันหลังของรอบเดือน

**1) ระยะฟอลิคูลาร์ (Follicular phase)**

เป็นช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของถุงไข่อ่อนเกิดขึ้นเมื่อผู้หญิงเข้าสู่วัยแรกรุ่น ภายใต้อิทธิพลของ FSH และ LH ถุงไข่อ่อนจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เซลล์แกรนูโลซาเพิ่มจำนวนและมีการสะสมของของเหลวในถุงไข่ การเจริญของถุงไข่อ่อนเป็นถุงไข่ขั้นปฐมภูมิ ทุติยภูมิและถุงไข่กราเฟียน ในแต่ละรอบเดือนในช่วงสัปดาห์แรกถุงไข่อ่อนประมาณ 6-12 ฟองจะเจริญเติบโต ในสัปดาห์ที่สองจะมีถุงไข่อ่อนที่เรียกว่า dominant follicle เพียงใบเดียวที่ผ่านกระบวนการคัดเลือกและสามารถเจริญเป็นถุงไข่กราเฟียนได้ เชื่อว่าเอสโทรเจนที่สร้างจากถุงไข่ช่วยเร่งให้มีการเจริญเติบโตของเซลล์ไข่ใบนั้นจนเกิดการตกไข่ ถุงไข่นอกนั้นจะฝ่อไป

ในระยะฟอลิคูลาร์นี้ FSH กระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์แกรนูโลซาและการสร้างฮอร์โมนเอสโทรเจน ในขณะที่ LH กระตุ้นการแบ่งเซลล์ และการสร้างฮอร์โมนแอนโดรเจนในเซลล์ทีคาชั้นใน ซึ่งแอนโดรเจนนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นเอสโทรเจนในเซลล์แกรนูโลซาโดยเอนไซม์ aromatase ทั้ง FSH และเอสโทรเจนกระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์แกรนูโลซา มีผลให้ถุงไข่เจริญเติบโตมากขึ้น นอกจากนี้เซลล์แกรนูโลซาสามารถสร้างและหลั่งฮอร์โมนอินฮิบิน

ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนต่าง ๆ ในเลือด เช่น อินฮิบิน เอสโทรเจน โพรเจสเทอโรน และโกนาโดโทรฟิน ตามวันต่าง ๆ ของรอบเดือน ลักษณะที่สำคัญที่พบในระยะนี้คือ ในช่วงแรกของระยะฟอลิคูลาร์อัตราส่วนของ LH/FSH จะมีค่าน้อยกว่า 1 โพรเจสเตอโรนและอินฮิบินมีระดับต่ำแต่ระดับเอสทราไดออลจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดในช่วงหลัง เอสโทรเจนที่หลั่งออกมามากช่วงนี้จะช่วยเพิ่มการตอบสนองของเซลล์แกรนูโลซาที่มีต่อ FSH และช่วยเพิ่มความไวของต่อมใต้สมองในการตอบสนองต่อ GnRH ดังนั้นจึงเพิ่มการหลั่ง FSH และ LH ทำให้ระดับ LH เพิ่มขึ้นสูงสุดเรียกว่า **LH surge** ในช่วง LH surge นี้อัตราส่วนของ LH/FSH จึงมีค่ามากกว่า 1

LH surge จะกระตุ้นให้เซลล์แกรนูโลซาสร้างโพรเจสเทอโรนเพิ่มขึ้น แต่สร้างเอสโทรเจนน้อยลงทำให้ระดับของเอสทราไดออลลดลง หลังจากเกิด LH surge ประมาณ 35 ชม. จึงเกิดการตกไข่

**2) การตกไข่ (Ovulation)**

โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในวันกึ่งกลางของรอบเดือนคือวันที่ 14 ถ้ารอบเดือนเป็น 28 วัน ก่อนถึงวันตกไข่โพรงแอนทรัมที่ล้อมเซลล์ไข่ในถุงไข่กราเฟียนจะขยายโตขึ้นมากประมาณวันที่ 14 ของรอบเดือน ถุงไข่กราเฟียแตกออกและปล่อยไข่ที่โตเต็มที่ ที่มีเยื่อหุ้มโซนาเพลลูซิดา (zona pellucida) ติดมาออกสู่ช่องท้องเซลล์ไข่จะถูกพัดโบกเข้าสู่ท่อรังไข่ทางฟิมเบรีย (fimbria) และจะปฏิสนธิ (fertilization) กับเชื้ออสุจิที่ส่วนกลางของท่อตัวอ่อนที่ได้ถูกเคลื่อนย้ายมาฝังตัวและเจริญเติบโตในโพรงมดลูกต่อไป แต่ถ้าไม่ได้รับการปฏิสนธิเซลล์ไข่จะฝ่อและหลุดออกมาทางช่องคลอด

การตกไข่มีกลไกเนื่องมาจาก 2 สาเหตุคือ ก) การอ่อนตัวลงของถุงไข่เนื่องจากถูกย่อยด้วยคอลาจิเนส (collagenase) และ พลาสมิน (plasmin) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในของเหลวในถุงไข่ (follicular fluid) และ ข) การบวมของถุงไข่ เนื่องจากการสะสมของของเหลวในถุงไข่ซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มระดับของ LH ในช่วงก่อนการตกไข่ทำให้มีเลือดเข้ามาเลี้ยงรังไข่และถุงไข่มาก

**3) ระยะลูเทียม (Luteal phase)**

หลังจากตกไข่ รังไข่บริเวณนั้นจะมีเลือดออกเล็กน้อยเห็นเป็นสีแดง เรียกว่า **corpus hemorrhagicum** ส่วนของเซลล์แกรนูโลซาและเซลล์ทีคาที่ค้างอยู่จะเปลี่ยนแปลงเป็นคอร์ปัสลูเทียม (corpus luteum) เซลล์ที่เกิดใหม่จะมีสีเหลืองเรียกว่าเซลล์ลูเทียม (luteal cells) ทำหน้าที่สร้างเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรน เรียกกระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า **ลูเทียไนเซชั่น (luteinization)** คอร์ปัสลูเทียม จะมีอายุประมาณ 14 วัน เมื่อไม่มีการตั้งครรภ์ก็จะฝ่อสลายไป โดยจะเริ่มฝ่อในวันที่ 24 ของรอบเดือน เซลล์บริเวณดังกล่าวจะตายมีลักษณะเป็น**คอร์ปัสอัลบิแคนส์**

**(corpus albican)** เหลือค้างอยู่ เรียกกระบวนการเปลี่ยนแปลงระยะนี้ว่า ลูทีโอไลซีส (luteolysis) กระบวนการเกิดลูทีโอไลซีส ยังไม่ทราบแน่ชัด

การเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนในเลือดในระยะลูเทียม ลักษณะสำคัญที่พบคือระดับของ โพรเจสเทอโรนและเอสโทรเจนจะเพิ่มขึ้นมากในระยะกึ่งกลางของระยะลูเทียม ระดับของโกนาโคโทรฟินต่ำ เนื่องจากการเพิ่มของเอสโทรเจนโพรเจสเทอโรนและอินฮิบิน การลดลงของเอสโทรเจนและไพรเจสเทอโรนในช่วงท้ายของระยะลูเทียมเนื่องจากการฝ่อสลายของคอร์ปัสลูเทียม

**2.2.2 การเปลี่ยนแปลงที่มดลูก**

แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

**1) ระยะการแบ่งตัวของผนังมดลูก (Proliferative phase)** เป็นระยะที่เยื่อบุมดลูก (endometrium) เริ่มมีการเจริญเติบโต หลังมีประจำเดือน ชั้นบางๆ ของเยื่อบุมดลูกที่ค้างอยู่จะเริ่มแบ่งเซลล์ สร้างเซลล์ใหม่ขึ้นทดแทนเซลล์เก่าที่หลุดออกไป โดยได้รับการกระตุ้นจากเอสโทรเจนที่หลั่งมาจากถุงเซลล์ไข่ที่ค่อยๆ เจริญเติบโต ต่อมภายในเยื่อบุมดลูกมีท่อยาวขึ้น เส้นเลือดที่ยาวขึ้นและมีเลือดมาเลี้ยงมาก การเปลี่ยนแปลงของเยื่อบุมดลูกในระยะนี้ตรงกับระยะฟอลิคูลาร์ในรังไข่

**2) ระยะการหลั่งสาร (Secretory phase)**

เป็นระยะที่เตรียมเยื่อบุมดลูกสำหรับการฝังตัวของตัวอ่อนซึ่งตรงกับระยะลูเทียมในรังไข่ หลังจากการตกไข่จะมีเลือดเข้ามาเลี้ยงเยื่อบุมดลูกมากขึ้น ทำให้เกิดการบวมด้วยน้ำ ต่อมภายในเยื่อบุมดลูกจะยาวขึ้นและขดไปมาเซลล์ของต่อมจะหลั่งของเหลวออกมา การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลของเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรน เมื่อไม่มีการฝังตัวของตัวอ่อน ฮอร์โมนจากรังไข่จะลดลงอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้เยื่อบุมดลูกบางลงและเส้นเลือดแดงชนิดที่ขดเกิดการตีบ เยื่อบุมดลูกส่วนบน ๆ ที่ขาดเลือดไปเลี้ยงก็จะหลุดลอกออก เรียกว่า **ประจำเดือน** และเริ่มเข้าสู่ระยะการแบ่งตัวของผนังมดลูก (proliferative phase) ของรอบเดือนใหม่ นอกจากนี้การสลายของเยื่อบุมดลูกยังเนื่องมาจากพรอสทาแกลนดิน (prostaglandins) ที่หลั่งมาจากเซลล์ของเยื่อบุมดลูกเองด้วย แต่ถ้ามีการฝังตัวของตัวอ่อนเยื่อบุมดลูกจะเปลี่ยนแปลงเป็นรกต่อไป

ประจำเดือนประกอบด้วยเลือดจากเลือดแดงซึ่งมีประมาณ 75% ของเลือดที่เสียไป นอกนั้นเป็นเนื้อเยื่อที่ตายแล้ว และ prostaglandins เนื่องจาก prostaglandins ทำให้มดลูกบีบตัว บางคนจึงรู้สึกปวดมดลูกเวลามีประจำเดือนโดยทั่วไปจะเสียเลือดไปประมาณ 30 มล. ในเวลา 3-5 วัน

**3) การเปลี่ยนแปลงที่อวัยวะอื่น ๆ**

การขับน้ำเมือกโดยเซลล์ของปากมดลูกจะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับของเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนเช่นกัน ในภาวะที่เอสโทรเจนในเลือดสูงก่อนการตกไข่น้ำเมือกจะใสและมีจำนวนมาก ถ้าทำการป้ายน้ำเมือกจากปากมดลูกลงบนแผ่นแก้วใสและปล่อยทิ้งให้แห้งแล้วดูใต้กล้องจุลทรรศน์จะเห็นว่าน้ำเมือกตกผลึกเป็นรูปคล้ายใบเฟิร์นเรียกว่า **Fern test** แต่น้ำเมือกที่ออกมาภายใต้อิทธิพลของโพรเจสเทอโรนจะข้นเหนียวและมีจำนวนน้อย

นอกจากนี้เอสโทรเจนจะกระตุ้นเซลล์ของผนังช่องคลอดให้แบ่งตัว ช่วยเพิ่มจำนวนชั้นของเซลล์ทำให้ทนต่อการติดเชื้อและการบาดเจ็บ ส่วนในท่อรังไข่เซลล์ที่บุท่อจะเจริญเติบใดหลั่งสารอาหารเตรียมพร้อมสำหรับการปฏิสนธิของเซลล์ไข่และเชื้ออสุจิ ต่อมน้ำนมก็จะถูกกระตุ้นทำให้มีอาการคัดเต้านมในระยะก่อนมีประจำเดือนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะหายไปหลังการมีประจำเดือน อุณหภูมิของร่างกายก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤทธิ์ของโพรเจสเทอโรนซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงเวลาของการตกไข่ เมื่อมีการตกไข่อุณหภูมิของร่างกายจะเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิของร่างกายในระยะตูเทียมจะสูงกว่าในระยะฟอลิคูลาร์

## 2.3 ฮอร์โมนเพศหญิง

### 2.3.1 เอสโทรเจน (estrogen)

เอสโทรเจนเป็นฮอร์โมนชนิดสเตอรอยด์ ฮอร์โมนที่สำคัญในกลุ่มนี้คือ เอสทราไดออล (estradiol) เอสโทรน (estrone) และเอสทริออล (estriol) เอสทราไดออลออกฤทธิ์ได้แรงกว่าฮอร์โมนสองชนิด ส่วนใหญ่สร้างมาจากรังไข่ที่เซลล์แกรนูโลซา และ คอร์ปัสลูเทียม ส่วนน้อยมาจากต่อมหมากไตชั้นนอก ในระหว่างการตั้งครรภ์สร้างมาจากรก

**หน้าที่ของเอสโทรเจน**

1. กระตุ้นให้มีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนเซลล์ของระบบสืบพันธุ์ ทำให้มีการเจริญเติบโตของอวัยวะเพศภายในและภายนอก
2. กระตุ้นการเจริญของรังไข่และถุงไข่โดยเพิ่มการตอบสนองของเซลล์แกรนูโลซาต่อ FSH
3. กระตุ้นร่างกายให้มีลักษณะของเพศหญิงทุติยภูมิ (female secondary sex characteristic) เช่น ช่วงไหล่แคบ สะโพกผาย และมีการสะสมของไขมัน ฯลฯ
4. กระตุ้นเซลล์ของปากมดลูกให้หลั่งน้ำเมือกใสออกมาจำนวนมาก ช่วยในการเคลื่อนที่ของเชื้ออสุจิไปยังมดลูก
5. กระตุ้นการหดตัวของกล้ามเนื้อมดลูก
6. กระตุ้นการเจริญเติบโตของเต้านมโดยเฉพาะส่วนของท่อ
7. กระตุ้นการหลั่งของของเหลวจากต่อมไขมัน
8. กระตุ้นการพัฒนาของขนที่อวัยวะเพศให้เป็นแบบผู้หญิง
9. กระตุ้นการเจริญเติบโตของกระดูกทำให้ตัวสูงขึ้นมากในช่วงวัยแรกรุ่นและทำให้ epiphyseal plate ปิดหลังวัยแรกรุ่น
10. ป้องกันโรคกระดูกพรุน
11. มีผลต่อเส้นเลือดถ้าขาดเอสโทรเจนทำให้เกิดอาการร้อนวูบวาบ
12. ทำให้เกิดอาการบวมน้ำ
13. กระตุ้นการหลั่งของฮอร์โมนโพรแลกทิน แต่ยับยั้งการไหลของน้ำนม
14. ป้องกันโรคหลอดเลือดแข็ง

### 2.3.2 โพรเจสทิน (Progestins)

โพรเจสทินเป็นฮอร์โมนชนิดสเตอรอยด์ ตัวฮอร์โมนที่สำคัญของกลุ่มนี้ ได้แก่ โพรเจสเทอโรน (progesterone) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับฮอร์โมนในกลุ่มเอสโทรเจนและแอนโดรเจน โพรเจสเทอโรนในสตรีที่ไม่ตั้งครรภ์ส่วนใหญ่มาจากคอร์ปัสลูเทียม ระดับฮอร์โมนในเลือดจะต่ำสุดในระยะฟอลิคูลาร์ แต่ปริมาณจะเพิ่มขึ้นในช่วงกลางของระยะลูเทียม โพรเจสเทอโรนมีหน้าที่ ดังนี้

1. เตรียมระบบสืบพันธุ์เพศหญิงสำหรับการฝังตัวของตัวอ่อนโดยกระตุ้นการหลั่งสารต่างๆจากเนื้อเยื่อบุมดลูก
2. ลดการทำงานของกล้ามเนื้อมดลูกจึงช่วยให้แท้งซึ่งการออกฤทธิ์ของโพรเจสเทอโรนนั้นมดลูกจะต้องได้รับการกระตุ้นจากเอสโทรเจนมาก่อน
3. กระตุ้นเซลล์ปากมดลูกให้ขับเมือกที่เหนียวและข้น เพื่อขัดขวางการเคลื่อนที่ของเชื้ออสุจิ
4. กระตุ้นการพัฒนาของเต้านมโดยออกฤทธิ์เสริมกับเอสโทรเจนในระหว่างตั้งครรภ์จะทำงานร่วมกับฮอร์โมนจากรก
5. ควบคุมการหลั่งของโกนาโดโทรฟิน

**2.4 การควบคุมการทำงานของรังไข่**

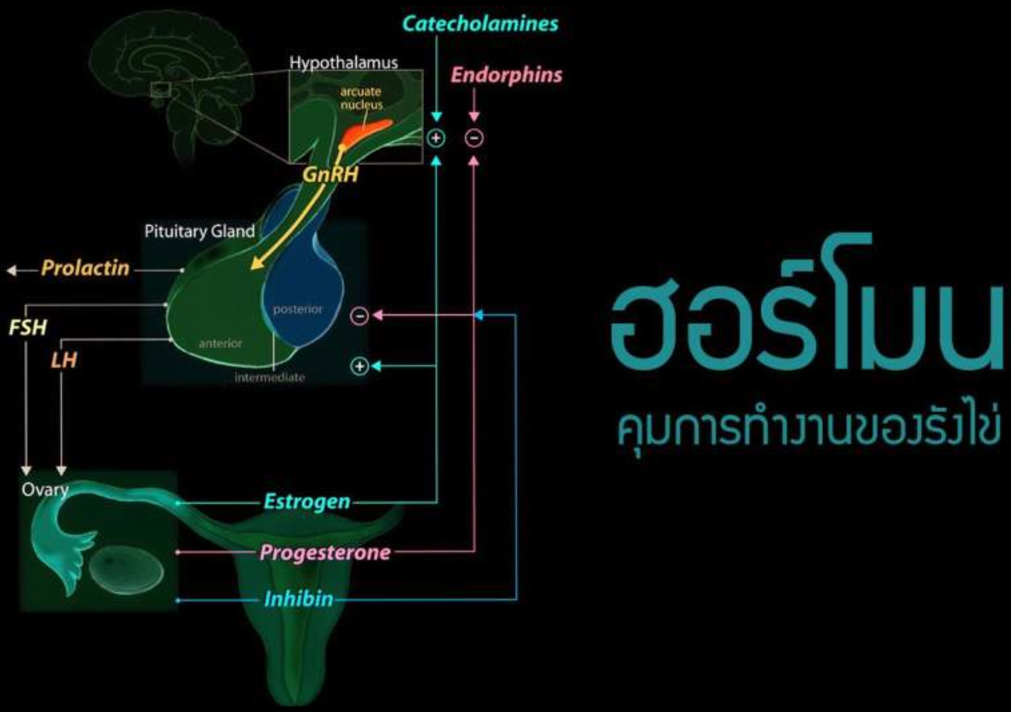
การทำงานของรังไข่ถูกควบคุมโดยฮอร์โมนโกนาโดโทรฟิน ซึ่งหลั่งมาจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า โดยความสัมพันธ์ระหว่างไฮโปทาลามัส ต่อมใต้สมอง และรังไข่ แสดงในรูปที่ 12-9

Hypothalamus (ต่อมใต้สมอง) ทำการหลั่ง GnRH เพื่อไปกระตุ้น Pituitary

Pituitary gland (ต่อมพิทูอิทารี่) ทำการหลั่ง FSH (Follicular Stimulating Hormone) และ LH (Luteinizing Hormone) เพื่อกระตุ้น Ovary

Ovary (รังไข่) ทำหน้าที่ในการสร้าง Egg (ไข่) ซึ่งเป็นเซลล์หลักในการขนส่งสารพันธุกรรม เพื่อการกำเนิดชีวิต และรังไข่ยังหลั่ง Estrogen (อีสโตรเจน) Progesterone (โปรเจนเตอโรน) Inhibin (อินฮิบิน)

Uterus (มดลูก) ทำหน้าที่หนาตัวขึ้น เป็นรอบๆ เพื่อรอรับการฝังตัวของ ไข่ที่รับการปฏิสนธิแล้ว และเป็นบ้านสำหรับชีวิตใหม่ที่กำลังเกิดขึ้น

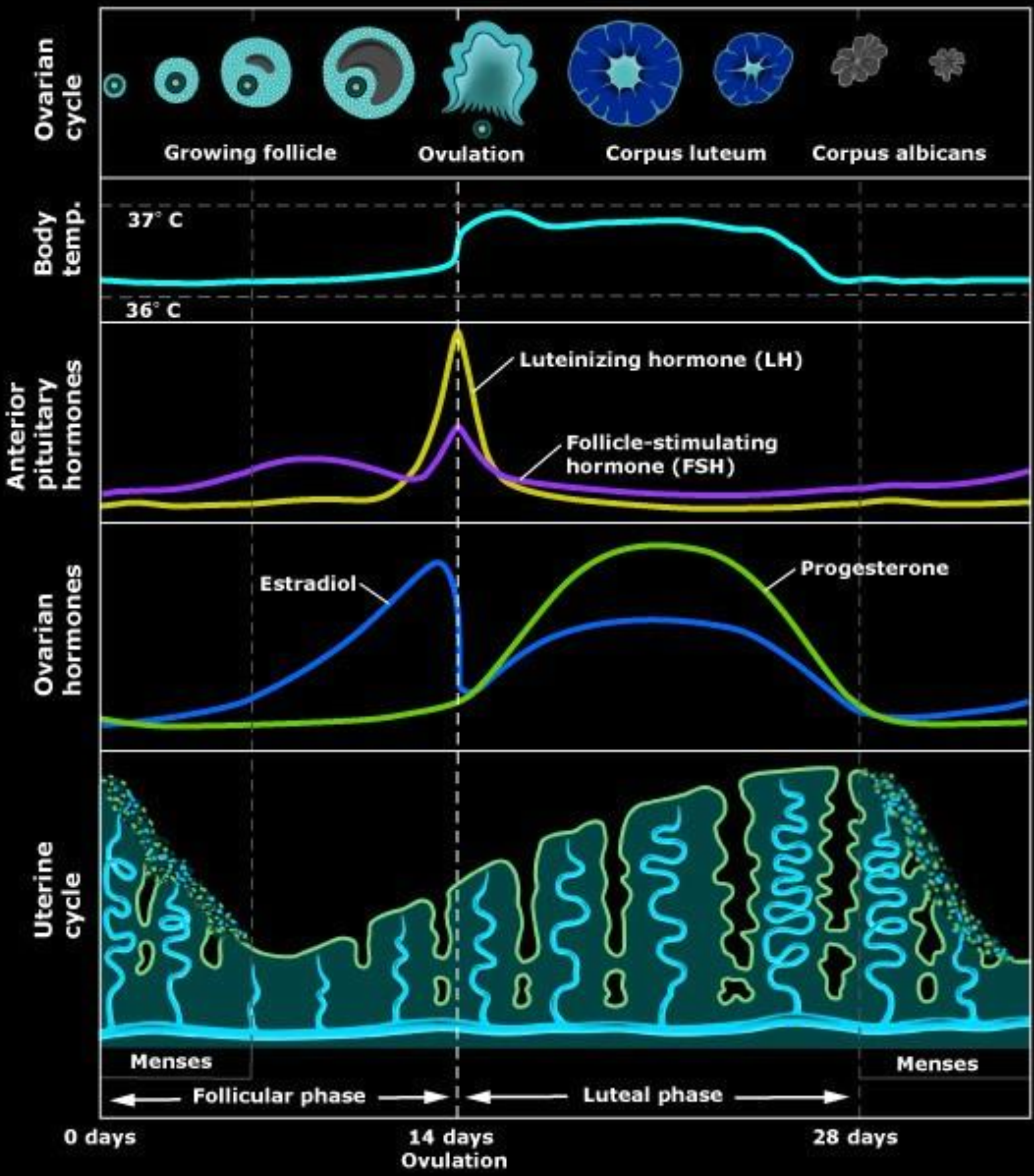



รูปที่ 12-9 แสดงฮอร์โมนควบคุมการทำงานของรังไข่

LH จะมากระตุ้นเซลล์ทีคาให้สร้างแอนโดรเจน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นเอสโทรเจนที่เซลล์แกรนูโลซา ส่วน FSH จะเร่งให้มีการพัฒนาของเซลล์แกรนูลาเพื่อให้สร้างเอสโทรเจน โพรเจสเทอโรน และอินฮิบิน ในช่วงแรกของระยะฟอลิคูลาร์ ระดับเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนต่ำ การหลั่งของ FSH และ LH ไม่ถูกยับยั้ง ดังนั้นจึงมีระดับค่อนข้างสูง เมื่อถุงไข่เจริญเติบโตทำให้มีการหลั่งของเอสโทรเจนเพิ่มขึ้นจึงมีผลยับยั้งการหลั่งของ FSH และ LH และ GnRH จากต่อมใต้สมองและไฮโปทาลามัส ตามลำดับ การควบคุมนี้เป็นการควบคุมแบบยับยั้งย้อนกลับ

ก่อนการตกไข่ FSH และ LH จะมีระดับต่ำลงในขณะที่เอสโทรเจนเพิ่มระดับขึ้นสูงมาก เอสโทรเจนที่เพิ่มขึ้นจะมาควบคุมการทำงานของต่อมใต้สมองส่วนหน้าและไฮโพทาลามัส เอสโทรเจนออกฤทธิ์ต่อต่อมใต้สมองส่วนหน้าโดยจะเตรียมต่อมเพื่อตอบสนองต่อ GnRH เพิ่มการหลั่งของ FSH และ LH เป็นการควบคุมแบบกระตุ้นย้อนกลับเป็นผลให้เกิด LH surge การควบคุมป้อนกลับเชิงบวกนี้พบในเพศหญิงเท่านั้น

หลังจากการตกไข่ คอร์ปัสลูเทียมสร้างและหลั่งฮอร์โมนเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนมาก ซึ่งมีผลย้อนกลับไปยับยั้งการหลั่งของ FSH และ LH อินฮิบินจะออกฤทธิ์ยับยั้งการหลั่ง FSH ที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้า



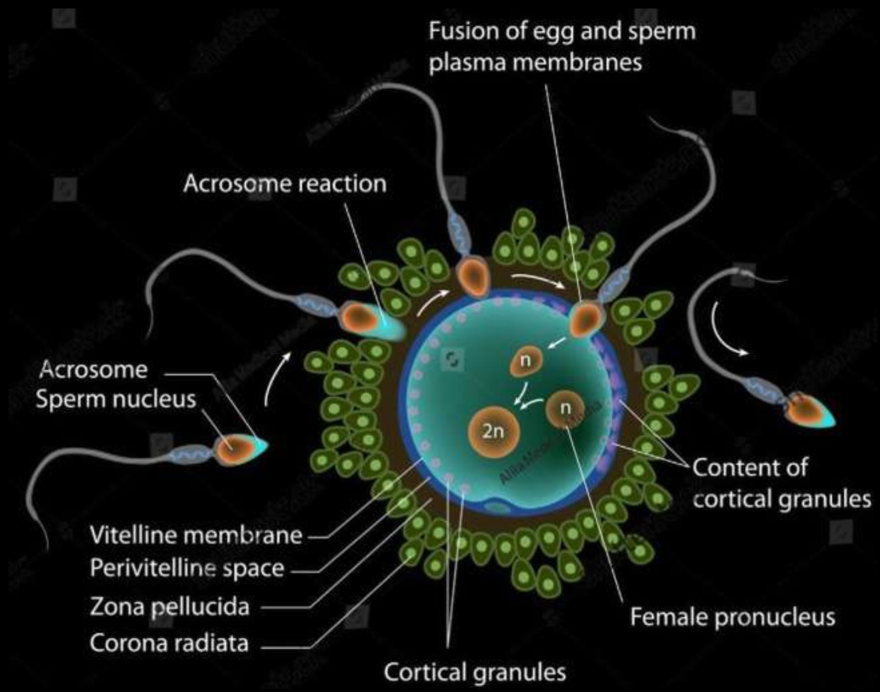

รูปที่ 12-10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนในวงรอบการมีประจำเดือน

## 2.5 การตั้งครรภ์ (Pregnancy)

### 2.5.1 การปฏิสนธิ (Fertilization)

ความสามารถของเซลล์ไข่ในการปฏิสนธิกับเชื้ออสุจิ อยู่ได้นานประมาณ 15-18 ชม. หลังจากการตกไข่ ถ้าเซลล์ไข่ไม่ได้รับการผสมก็จะสลายตัวไป ส่วนเชื้ออสุจิมีชีวิตอยู่ในระบบสืบพันธุ์เพศหญิงได้นานประมาณ 48 ชม. การปฏิสนธิระหว่างเชื้ออสุจิและเซลล์ไข่เกิดขึ้นในท่อนำไข่ เอสโทรเจนซึ่งหลั่งในช่วงการเจริญเติบโตของถุงไข่อ่อน ช่วยเตรียมระบบสืบพันธุ์เพศหญิงให้เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่ของเชื้ออสุจิไปหาเซลล์ไข่ในท่อนำไข่ ไกลโคเจนที่สะสมในชั้นเยื่อบุของช่องคลอดถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลกติก ภาวะกรดที่เพิ่มขึ้นทำให้เชื้ออสุจิเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น เมือกที่หลั่ง

จากปากมดลูกมีลักษณะเป็นน้ำใสไม่กีดขวางการเคลื่อนที่ของเชื้ออสุจิ เอสโทรเจนมีผลให้มดลูกบีบตัวช่วยพาเชื้ออสุจิไปยังท่อนำไข่ ส่วนเซลล์ไข่จะถูกปัดเข้าไปในท่อนำไข่โดยฟิมเปรีย ภายในท่อนำไข่เชื้ออสุจิมีการเปลี่ยนแปลงทำให้มีความสามารถในการผสมกับเซลล์ไข่ (capacitation) โดยเพิ่มการพัดโบกของหางอย่างรุนแรงและเกิดการเปลี่ยนแปลงที่อะโครโซม (acrosomal reaction) เพื่อให้ผิวหุ้มเชื้ออสุจิรวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ไข่ได้



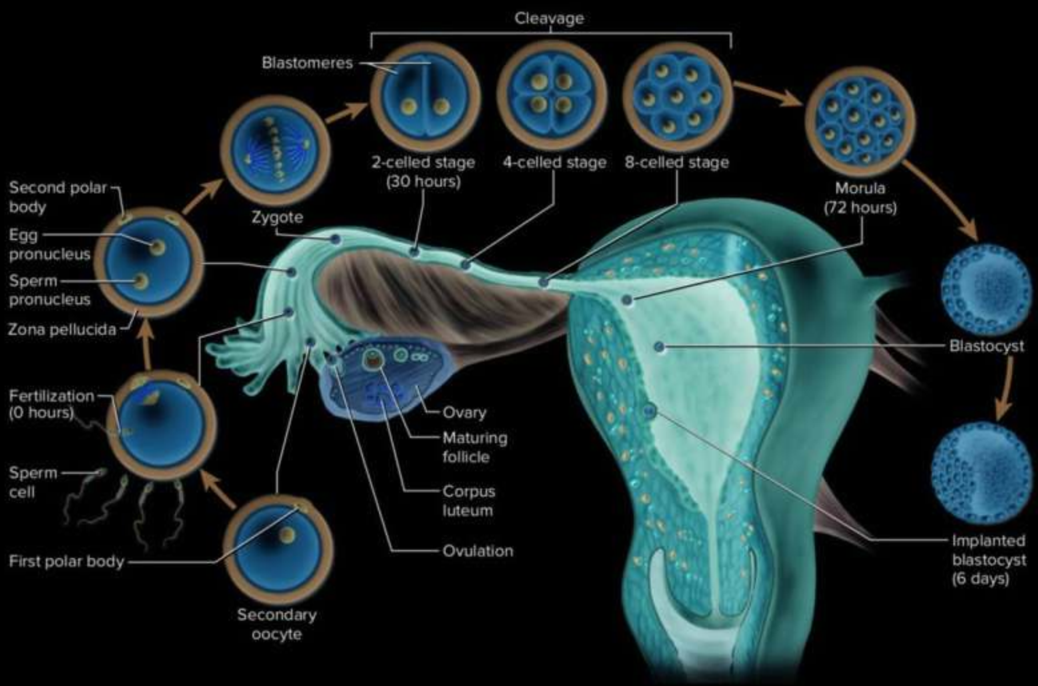

รูปที่ 12-11 แสดงเชื้ออสุจิสัมผัสกับเซลล์ไข่

เมื่อเชื้ออสุจิสัมผัสกับเซลล์ไข่ แคลเซียมจากภายนอกเคลื่อนผ่านช่องแคลเซียมเข้าสู่ภายในหัวของอสุจิ การเพิ่มของแคลเซียมจะกระตุ้นให้เชื้ออสุจิปล่อยเอนไซม์อะโครซิน (acrosin) ที่อยู่ภายใน acrosome ออกมาย่อยเยื่อหุ้มเซลล์ไข่ชั้นนอก และเจาะผ่านชั้นโซนาเพลลูซิดา (zona pellucida) ทันทีที่เยื่อหุ้มไข่และเยื่อหุ้มเชื้ออสุจิรวมตัวกัน เซลล์ไข่จะหลั่งเอนไซม์จากถุงซึ่งอยู่บริเวณขอบเซลล์ (cortical granule) ทำให้โซนาเพลลูซิดามีการเปลี่ยนแปลงช่วยกันมิให้เชื้ออสุจิตัวอื่นเข้าผสมกับไข่อีก ภายในเซลล์ไข่เริ่มการแบ่งตัวแบบไมโอซิสครั้งที่สองต่อ ได้เป็นเซลล์ไข่ที่มีโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง (haploid) และโพลาร์บอดีที่ 2 ซึ่งจะฝ่อสลายไป มีการสร้างโปรนิวเคลียสของเซลล์ไข่และเชื้ออสุจิ (female และ male pronuclei) เมื่อโปรนิวเคลียสทั้งสองชนิดรวมตัวกันให้ตัวอ่อน (zygote) ที่มี 46 โครโมโซม ตัวอ่อนแบ่งตัวให้กลุ่มเซลล์ (morula) ขณะเดินทางมายังมดลูกหลังจากปฏิสนธิได้ 6 วัน ตัวอ่อนจะแบ่งเซลล์ได้ประมาณ 64 เซลล์ จากนั้นพัฒนาเป็นขั้นบลาสโทซิสต์ (blastocyst) ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ชั้นใน (inner cell mass) ซึ่งจะเจริญไปเป็นทารก เซลล์ชั้นนอก เรียกว่า โทรโฟบลาสต์ (trophoblast)

**2.5.2 การฝังตัวของตัวอ่อน (Implantation)**

บลาสโทซิสต์จะลอยอยู่ในของเหลวในโพรงมดลูกอยู่ประมาณ 1 วันก่อนที่จะฝังตัวที่ผนังมดลูกในวันที่ 7 หลังการปฏิสนธิ เมื่อบลาสโทซิสต์ฝังตัวเซลล์โทรโฟบลาสต์จะพัฒนาเป็น 2 ชั้น เซลล์ชั้นในที่หุ้มตัวอ่อนเรียกว่า ไซโทโทรโฟบลาสต์ (cytotrophoblast) ส่วนชั้นนอกเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ซินซิทิโอโทรโฟบลาสต์ (syncytio trophoblast) เซลล์โทรโฟบลาสต์เปลี่ยนแปลงเป็นส่วนหนึ่งของรก โดยยื่นส่วนของเซลล์ซึ่งมีลักษณะคล้ายนิ้ว

(chorionic villi) เข้าไปในเซลล์เยื่อบุมดลูก ภายในวิลไลนี้มีเส้นเลือดของตัวอ่อนมาเลี้ยงมากมาย เซลล์เยื่อบุมดลูกซึ่งอยู่ล้อมให้รอบวิลไลถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากเซลล์ของวิลไลทำให้โทรโฟบลาสต์แช่อยู่ในแอ่งเลือดที่มาจากแม่ เมื่อรกเจริญเติบโตจะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนสารอาหาร ออกซิเจน และของเสียต่าง ๆ ระหว่างระบบไหลเวียนของแม่และลูก




รูปที่ 12-12 แสดงขั้นตอนการ fertilization และ Implantation

**2.5.3 ฮอร์โมนจากรก (Placental hormones)**

ขณะตั้งครรภ์รกจะสร้างฮอร์โมนที่จำเป็นสำหรับการตั้งครรภ์หลายตัวจากชั้นเซลล์ซินซิทิโอโทรไฟ บลาสต์ดังนี้

**1) Human chorionic gonadotropin, HCG)**

เป็นไกลโคโปรตีน ให้ผลคล้ายกับ LH สามารถวัด HCG ในปัสสาวะของมารดาได้ตั้งแต่วันที่ 9 ของการตั้งครรภ์และระดับจะสูงขึ้นระหว่างสัปดาห์ที่ 9-12 หลังจากนั้นจะลดลง การตรวจพบ HCG ในปัสสาวะหรือเลือดใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการตั้งครรภ์ HCG ทำหน้าที่ยืดอายุการทำงานของคอร์ปัสลูเทียม กระตุ้นการสร้างและหลั่งฮอร์โมนรีแลกซิน (relaxin) เพื่อยับยั้งการหดตัวของมดลูก

**2) Human chorionic somatomammotropin (HCS)**

HCS หรือ human placental lactogen (HPL) เป็นเปปไทด์ฮอร์โมน มีโครงสร้างเหมือนโกรทฮอร์โมนและโพรแลกทิน แต่มีผลแบบโพรแลกทินสูงกว่าโกรทฮอร์โมนขณะที่ระดับ HCG ลดต่ำลงหลังจาก 3 เดือนของการตั้งครรภ์ รกจะสร้าง HCS ในสัปดาห์ที่ 4 และจะเพิ่มระดับขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับสูงสุดเมื่อใกล้คลอด การสร้าง HCS จะแปรไปตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของรก ดังนั้นจึงใช้ฮอร์โมนนี้เป็นตัวบ่งชี้สภาวะของรกในระยะต่างๆ ได้ ถ้า HCS มีระดับต่ำในช่วงต้น ๆ ของการตั้งครรภ์อาจทำให้แท้งบุตรได้

HCS กระตุ้นการสลายไขมัน เพื่อให้เลือดของแม่และทารกมีระดับไขมันสูง ยับยั้งการนำกลูโคสเข้าเซลล์มารดา เป็นผลให้ระดับกลูโคสในเลือดคงที่และพอเพียงที่จะไปเลี้ยงทารกและกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของเต้านมมารดาเพื่อเตรียมสำหรับการผลิตน้ำนมหลังการคลอด

**3) โพรเจสเทอโรน**

รกจะเริ่มสร้างโพรเจสเทอโรนในสัปดาห์ที่ 6 ของการตั้งครรภ์ถึงระดับสูงสุดเมื่อใกล้คลอด โพรเจสเทอโรนเป็นฮอร์โมนที่สำคัญสำหรับการตั้งครรภ์โดยเตรียมเยื่อบุมดลูกเพื่อรับตัวอ่อนทำงานร่วมกับฮอร์โมนรีแลกซิน ในการยับยั้งการหดตัวของมดลูก ช่วยการเจริญเติบโตของเต้านม ลดการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของแม่ไม่ให้ต่อต้านการมีทารกซึ่งเปรียบเสมือนเซลล์แปลกปลอมในร่างกายของแม่

**4) เอสโทรเจน**

รกสร้างเอสโทรเจนได้ทั้งเอสทราไดออล เอสโทรนและเอสไทรออล เอสโทรเจนทำหน้าที่ช่วยในการพัฒนาเต้านมและทำให้กล้ามเนื้อมดลูกมีขนาดโตขึ้น ทำให้เอ็นยึดต่างๆในอุ้งเชิงกราน และกระดูกหัวเหน่า อ่อนตัวช่วยให้บริเวณช่องคลอดขยายออกได้กว้างขึ้น ตลอดการตั้งครรภ์เอสไทรออลจะเพิ่มขึ้นมากในปัสสาวะ จึงใช้บ่งบอกถึงสภาวะของทารกในครรภ์ได้

## 2.6 การคลอด (Parturition)

ระยะเวลาตั้งครรภ์ในคนนาน 270 วันหลังจากการปฏิสนธิหรือ 284 วันหลังจากวันแรกของการมีประจำเดือนครั้งสุดท้าย เมื่อครบกำหนดปากมดลูกจะคลายตัวเปิดออก มดลูกจะบีบตัวให้ทารกคลอดออกมาสำหรับกลไกที่กระตุ้นให้เกิดการเจ็บท้องคลอดในคนยังไม่ทราบแน่ชัด แต่มีฮอร์โมนหลายตัวที่เกี่ยวข้องกับการคลอด ดังนี้

**1. เอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรน**

ในระหว่างการตั้งครรภ์อัตราส่วนของโพรเจสเทอโรนและเอสโทรเจนสูง แต่เมื่อจะคลอดพบว่าอัตราส่วนของฮอร์โมนทั้งสองจะต่ำลง การเพิ่มระดับของเอสโทรเจนทำให้มดลูกบีบตัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เอสโทรเจนกระตุ้นการสร้างตัวรับสัญญาณของออกซิโทซิน (oxytocin receptor) ในกล้ามเนื้อหรูดและกระตุ้นการสร้างพรอสทาแกลนดิน

**2) ออกซิโทซิน (oxytocin)**

ขณะที่ทารกโตขึ้นจะทำให้มดลูกถูกยืด มีผลกระตุ้นตัวรับสัญญาณสำหรับการยืด (stretch receptor) ให้ส่งสัญญาณไปยังต่อมใต้สมองส่วนหลังของมารดาให้หลังออกซิโทซินออกมา ขณะคลอดมดลูกหดตัวแรงขึ้นเนื่องจากการตอบสนองของมดลูกต่อออกซิโทซิน เพราะในระหว่างตั้งครรภ์เอสโทรเจนช่วยเพิ่มการสร้างตัวรับสัญญาณของออกซิโทซิน ทุกครั้งที่มดลูกหดตัวศีรษะเด็กจะเคลื่อนตัวลงและช่วยขยายช่องคลอด มีการส่งสัญญาณไปยังต่อมใต้สมองของมารดาให้หลั่งออกซิโทซินมดลูกบีบตัวแรงขึ้นปากมดลูกจะบางลงและเปิดกว้าง เมื่อจะคลอดจะมีการกระตุ้นรีเฟล็กซ์ไขสันหลัง และการหดตัวของกล้ามเนื้อหน้าท้อง ช่วยเพิ่มแรงดันในช่องท้องร่วมกับการบีบตัวอย่างแรงของมดลูกช่วยดันเด็กให้ผ่านช่องคลอดออกมา

**3) พรอสทาแกลนดิน (prostaglandin)**

ในช่วงที่ทารกจะคลอดพบระดับของพรอสทาแกลนดินในน้ำคร่ำเพิ่มขึ้น เอสโทรเจนกระตุ้นการสร้างและหลั่งของพรอสทาแกลนดินในมดลูก เชื่อว่าพรอสทาแกลนดินกระตุ้นให้มดลูกบีบตัวเพิ่มขึ้นและช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของปากมดลูก

**4) ลีแลกซิน (Relaxin)**

ขณะคลอดปากมดลูกจะอ่อนตัวลงเนื่องจากการลดปริมาณของเส้นใยคอลลาเจน การอ่อนตัวลงของปากมดลูกถูกควบคุมโดยรีแลกซินซึ่งหลังจากคอร์ปัสลูเทียม

## 2.7 การให้นมบุตร (Lactation)

การหลั่งน้ำนมจากเต้านม เรียกว่า lactation เมื่อเข้าสู่วัยแรกรุ่นเอสโทรเจนมีผลกระตุ้นการเจริญของเต้านมโดยกระตุ้นการแตกแขนงของท่อน้ำนม (lactiferous duct) และการสะสมของไขมัน ส่วนโพรเจสเทอโรนมีผลต่อการ

เจริญของส่วนถุงน้ำนม (alveoli) แต่เอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนจะออกฤทธิ์ได้ต้องมีฮอร์โมนโพรแลกทิน โกรทฮอร์โมน และคอร์ทิซอลเข้าร่วมด้วย ระหว่างตั้งครรภ์เอสโทรเจน โพรเจสเทอโรน โพรแลกติน และ HCS มีระดับสูงช่วยในการเจริญเติบโตของเต้านมและการสร้างน้ำนม ในช่วงนี้เต้านมยังไม่หลั่งน้ำนมเนื่องจากเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนในระดับสูงยับยั้งการออกฤทธิ์ของโพรแลกตินในการสร้างน้ำนม หลังคลอดระดับเอสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนลดระดับลงในขณะที่ออกซิโทซินสูงขึ้นทำให้น้ำนมเริ่มไหลภายใน 1-3 วันหลังคลอด น้ำนมที่ไหลออกมาในวันแรก ๆ จะมีลักษณะใส สีเหลือง เรียกว่า คอลอสตรัม (colostrum) ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงและมีภูมิคุ้มกันโรคที่จะถ่ายทอดไปยังบุตรได้

การดูดน้ำนม (suckling) ของทารกในระยะหลังตลอดช่วยกระตุ้นการสร้างโพรแลกตินทำให้น้ำนมถูกสร้างขึ้นตลอดเวลา การดูดน้ำนมจะกระตุ้นตัวรับสัญญาณ (mechanoreceptor) ที่หัวนมให้ส่งสัญญาณไปสู่ต่อมใต้สมองส่วนหลังให้หลั่งออกซิโทซินไปกระตุ้นให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบที่อยู่รอบ ๆ ถุงและท่อน้ำนมหดตัวบีบให้น้ำนมไหลออกมา เรียกการหลั่งน้ำนมนี้ว่า milk ejection reflex นอกจากนี้ออกซิโทซินกระตุ้นให้มดลูกหดตัวมดลูกจึงกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เร็วขึ้น การดูดน้ำนมและโพรแลกตินยับยั้งการทำงานของแกนไฮโปทาลามัส ต่อมใต้สมองและรังไข่ ทำให้ไม่มีการตกไข่ มารดาที่ไม่ได้เลี้ยงดูบุตรด้วยน้ำนมตัวเองจะมีประจำเดือนเร็วภายใน 6 สัปดาห์หลังคลอด แต่ในรายที่ให้นมบุตรอยู่สม่ำเสมอประจำเดือนจะขาดไปนานถึง 25-30 สัปดาห์ ดังนั้นการให้นมบุตรจึงเป็นการคุมกำเนิดแบบชั่วคราวอย่างธรรมชาติ

*************************************

## เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

# แผนการสอน

## วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์

## (Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)

---

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาท
(Anatomy and Physiology of Nervous System)

**จำนวนชั่วโมง** 6 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับคำที่ใช้ในการศึกษากายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาท
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. ระบุประเภทของระบบประสาทได้อย่างถูกต้อง
2. บอกชื่อเซลล์หลักของระบบประสาทได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายกายวิภาคและหน้าที่ขององค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ประสาทได้อย่างถูกต้อง
4. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแอกซอนและเดนไดรต์ได้อย่างถูกต้อง
5. บอกชนิดและอธิบายกายวิภาคของเส้นใยประสาทได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายลักษณะโครงสร้างและการทำงานของซิแนปส์ได้อย่างถูกต้อง
7. บอกชื่อและหน้าที่ของเซลล์ค้ำจุนในระบบประสาทได้อย่างถูกต้อง
8. บอกชื่อชั้นต่างของเยื่อหุ้มสมองและไขสันหลังได้อย่างถูกต้อง
9. บอกชื่อช่องว่างภายในสมองได้อย่างถูกต้อง
10. อธิบายส่วนประกอบของระบบประสาทส่วนกลางได้อย่างถูกต้อง
11. บอกตำแหน่งและหน้าที่ของสมองต่างๆ ของสมองใหญ่ได้อย่างถูกต้อง
12. อธิบายหน้าที่ของสมองส่วนกลางได้อย่างถูกต้อง
13. อธิบายหน้าที่ของสมองส่วนหลังได้อย่างถูกต้อง
14. อธิบายกายวิภาคและบอกหน้าที่ของไขสันหลังได้อย่างถูกต้อง
15. บอกชื่อและหน้าที่ของเส้นประสาทสมองได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 13

**************************************

# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาท
# (Anatomy and Physiology of Nervous System)

**ตอนที่ 1 บทนำระบบประสาท (Introduction to Nervous System)**

1.1 ประเภทของระบบประสาท

1.1.1 ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System, CNS)

1.1.2 ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Nervous System, PNS)

1.2 เนื้อเยื่อประสาท (Nervous tissue)

1.2.1 เซลล์ประสาท (Neurons หรือ Nerve cells)

1.2.1.1 ตัวเซลล์ประสาท (Nerve cell body

1.2.1.2 Nucleus

1.2.1.3 Cytoplasm

1.2.1.4 Dendrites

1.2.1.5 Axon

1.2.1.6 การแบ่งชนิดของเซลล์ประสาท

1.2.2 เซลล์ค้ำจุนเซลล์ประสาท (Neuroglia หรือ Glia cells หรือ Supporting cells)

1.3 Nerve fiber (เส้นใยประสาท)

1.4 Synapse

1.5 Ganglion (ปมประสาท)

1.6 Meninges (เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง)

1.7 Ventricle (ช่องว่างภายในสมอง)

1.8 Cerebrospinal fluid (น้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง)

1.9 การเสื่อมสลาย และการงอกใหม่ของเซลล์ประสาท

**ตอนที่ 2 ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System หรือ CNS)**

2.1 สมอง (Brain)

2.1.1 สมองส่วนหน้า (Prosencephalon หรือ forebrain)

2.1.2 สมองส่วนกลาง (Mesencephalon หรือ midbrain)

2.1.3 สมองส่วนหลัง (Rhombencephalon หรือ hindbrain)

2.2 ไขสันหลัง (Spinal cord)

## ตอนที่ 3 ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral nervous system, PNS)

3.1 เส้นประสาทสมอง (Cranial nerve)

3.2 เส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerve)

# บทที่ 13
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาท
# (Anatomy and Physiology of Nervous system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. (สรีรวิทยา)

ความเร้นลับเกี่ยวกับกลไกการควบคุมพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์นั้น เป็นสิ่งที่นักปราชญ์ในสมัยโบราณ ตลอดจนนักวิทยาศาสตร์ในสมัยปัจจุบันให้ความสนใจตลอดมา ในยุคก่อนที่จะมีการศึกษาแบบวิทยาศาสตร์นั้น ได้รับอิทธิพลมาจากศาสนาและมีความเชื่อว่าร่างกายนั้นถูกควบคุมด้วยดวงวิญญาณ ตลอดจนพลังงานเหนือธรรมชาติอื่นๆ ดังจะเห็นได้จากหลักฐานจากวัฒนธรรมอียิปต์ ซึ่งมีความเชื่อว่า จิตใจและความนึกคิดของมนุษย์นั้นแยกออกจากร่างกาย และเมื่อเจ้าของร่างเสียชีวิต ดวงวิญญาณที่เรียกว่า “Ba” จะบินออกจากร่างและจะกลับเข้าสู่ร่างเดิมเพื่อเริ่มชีวิตใหม่ หรือจากแนวความคิดของศาสนาฮินดูซึ่งเชื่อว่าการกระทำของมนุษย์เป็นผลมาจากการควบคุมของ “อาตมัน” ซึ่งจะเดินทางไปสู่ภพใหม่เมื่อเจ้าของร่างเดิมเสียชีวิต ความเชื่อเกี่ยวกับการเดินทางออกจากร่างของวิญญาณไปสู่ร่างใหม่พบได้ทั้งในอารยธรรมตะวันออกและตะวันตก เพียงแต่จะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันออกไป



รูปที่ 13-1 แสดงความเชื่อของชาวอียิปต์โบราณ เกี่ยวกับวิญญาณหลังความตาย ในภาพแสดงการเคลื่อนที่ของ Ba ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมพฤติกรรมมนุษย์ Ba จะบินออกจากร่างเจ้าของเมื่อผู้นั้นถึงแก่กรรม (รูปภาพจาก https://brewminate.com/the-ancient-egyptian-concept-of-the-soul/)

จากแนวความคิดที่ว่าดวงวิญญาณ เป็นตัวผลักดันและใช้ชีวิตแก่ร่างกาย ทำให้เกิดความเชื่อต่อมาว่าพลังแห่งชีวิตที่กล่าวถึงนี้ คือ โลหิตที่ไหลเวียนอยู่ในร่างกาย และเมื่อโลหิตไหลออกจากร่าง พลังแห่งชีวิตก็จะไหลออกจากร่างนี้ด้วย เนื่องจากหัวใจเป็นศูนย์กลางในการไหลเวียนโลหิต นักปราชญ์ในสมัยก่อน เช่น อริสโตเติล เชื่อว่าหัวใจเป็นต้นกำเนิดแห่งพลังชีวิต แนวความคิดนี้ต่างกับของพลาโต ที่กล่าวว่าจักรวาลที่มีรูปทรงกลมทำหน้าที่ควบคุมปรากฏการณ์ธรรมชาติต่าง ๆ ศีรษะซึ่งเป็นอวัยวะที่มีรูปทรงกลม เช่นเดียวกับรูปทรงของจักรวาล ย่อมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของร่างกายส่วนอื่น ๆ ในระยะหลังได้มีการประสานแนวความคิดทั้งสองนี้เข้าด้วยกัน โดยสรุปว่าสารน้ำแห่งชีวิต (animal spirit) ถูกสร้างขึ้น โดยเริ่มจากสารอาหารที่ถูกดูดซึมในลำไส้จะส่งผ่านมายังตับและสร้างเป็น natural spirit เมื่อสารที่สร้างขึ้นนี้ไหลเวียนผ่านหัวใจ จะเปลี่ยนเป็น vital spirit ซึ่งเมื่อไหลขึ้นสู่ฐานของสมองจะรวมเข้ากับอากาศใน

โพรงจมูกทำให้เกิด animal spirit และเก็บไว้ในโพรงสมอง ดังนั้นสารน้ำแห่งชีวิตนี้จึงมีส่วนประกอบจากสารอาหาร โลหิต และอากาศ ซึ่งล้วนแต่เป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตทั้งสิ้น Galen นักกายวิภาคชาวกรีกเชื่อว่าโพรงสมองนี้เป็นส่วนที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมพฤติกรรมของมนุษย์

ในระยะแรกของการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการควบคุมพฤติกรรมมักอาศัยการตั้งข้อสังเกตและการเปรียบเทียบเป็นสำคัญ เช่น การศึกษาเปรียบเทียบขนาดและรูปร่างของสมองในสิ่งมีชีวิตสายพันธุ์ต่างๆ และเปรียบเทียบกับลักษณะของพฤติกรรมในสัตว์นั้นๆ จนกระทั่งวิทยาศาสตร์มีความก้าวหน้ามากขึ้นการศึกษาจึงเปลี่ยนมาเป็นการศึกษาที่อาศัยการทดลองเป็นหลัก เช่น การทำลาย หรือกระตุ้น ส่วนต่างๆ ของร่างกายและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรม จากผลการศึกษาทำให้เกิดแนวความคิดใหม่ที่ว่า ร่างกายและจิตใจเป็นหนึ่งเดียวกัน และพฤติกรรมต่างๆ ถูกควบคุมด้วยอวัยวะในร่างกายมิใช่เป็นผลจากพลังเหนือธรรมชาติ อวัยวะที่ทำหน้าที่สำคัญ คือ สมองและระบบประสาท

การศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ของสมองและพฤติกรรมได้เริ่มต้นในศตวรรษที่ 19 โดยแพทย์และนักกาย วิภาคศาสตร์ชาวออสเตรีย Franz Joseph Gall ซึ่งมีความเชื่อว่าความนึกคิดและจิตใจนั้นมีกลไกพื้นฐานทางชีวภาพและถูกควบคุมโดยการทำงานของสมอง เขาให้ความเห็นว่าทุกส่วนสมองมิได้ทำงานเหมือนกันทั้งหมด หากแต่สมองประกอบด้วยส่วนย่อยๆ 35 ส่วน ที่ทำหน้าที่ควบคุมพฤติกรรมที่แตกต่างกัน Gall เชื่อว่าแม้แต่พฤติกรรมที่มีความซับซ้อนมาก เช่น ความคิดทางนามธรรมต่าง ๆ (ความรัก ความคิดสร้างสรรค์ ฯลฯ) ล้วนถูกควบคุมโดยตำแหน่งของสมองที่มีความจำเพาะต่อพฤติกรรมนั้น ๆ และเมื่อสมองส่วนใดทำงานมาก สมองส่วนนั้นจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และทำให้เกิดรอยนูนบนกะโหลกศีรษะ Gall ได้ประดิษฐ์เครื่องมือที่สามารถวัดรอยนูนเหล่านี้ได้อย่างละเอียดในประชากรจากกลุ่มต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของบุคคลนั้น ๆ ด้วยวิธีการนี้ Gall สามารถสร้างแผนที่ของการทำงานของสมองได้ เรียกวิชาที่ว่าด้วยความสัมพันธ์ของลักษณะกะโหลกศีรษะ และพฤติกรรมนี้ว่า Phrenology ถึงแม้ว่าในปัจจุบันความคิดบางประการของ Gall จะได้รับการพิสูจน์ว่าไม่ถูกต้อง แต่เขาก็ได้รับการยกย่องว่าเป็นบุคคลแรกที่วางแนวความคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ของสมอง และหน้าที่ในการควบคุมพฤติกรรม เรียกแนวคิดของ Gall นี้ว่า Localizationist view



รูปที่ 13-2 แสดงส่วนของสมองที่ทำหน้าที่ควบคุมพฤติกรรมของมนุษย์ ตามแนวคิดของ Gall (รูปภาพจาก https://historyofneuroscience.umwblogs.org/history-of-neuroscience/the-beginnings-of-brain-localization-franz-joseph-gall-and-phrenology/)

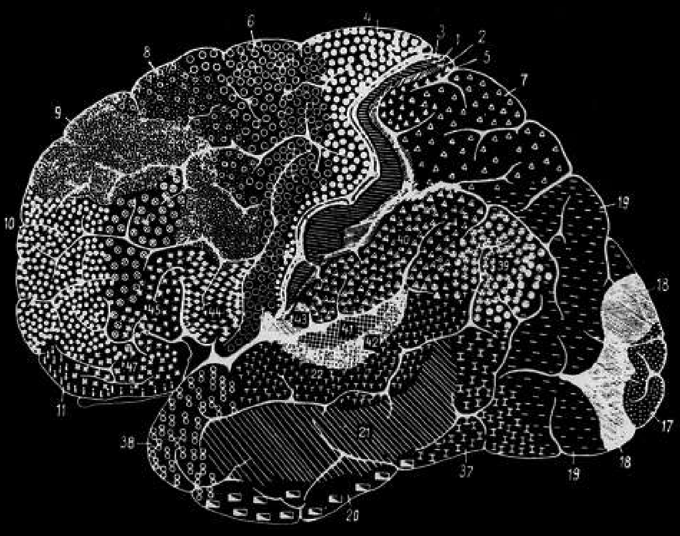
Jean Pierre Flourens นักชีววิทยาชาวฝรั่งเศส ได้พยายามพิสูจน์ทฤษฎีของ Gall โดยการทำลายสมองบางส่วนในสัตว์ทดลองและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม Flourens ไม่พบว่ามีส่วนใดของสมองที่ควบคุมความนึกคิดอย่างเฉพาะเจาะจง จากผลการศึกษานี้ทำให้เขาสรุปว่าการทำงานของสมองเกี่ยวกับความคิดนั้น ไม่มีความจำเพาะต่อบริเวณใดของสมอง หากเป็นผลของการทำงานร่วมกันทั้งหมด และให้สมมติฐานว่าทุกส่วนของสมองทำงานเหมือนกันและเมื่อมีภยันตรายเกิดขึ้นต่อส่วนใดส่วนหนึ่งจะมีผลต่อการทำงานของสมองทั้งหมด เราเรียกแนวความคิดนี้ว่า “Aggregate field view” ซึ่งตรงข้ามกับ “Localizationist view ของ Gal

ความขัดแย้งในแนวความคิดทั้งสองนี้ได้รับการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ทั้งในการศึกษาอาการทาง คลินิกและการศึกษาทางห้องปฏิบัติการ ในปี 1961 ประสาทแพทย์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Paul Broca ได้รายงานผู้ป่วยที่มีความผิดปกติในการใช้ภาษา กล่าวคือสามารถเข้าใจความหมายของภาษาได้ทั้งภาษาพูดและภาษาเขียน แต่ไม่สามารถโต้ตอบได้อย่างถูกไวยากรณ์ เขาได้ทำการตรวจสมองของผู้ป่วยรายนี้หลังจากเสียชีวิต และพบว่าบริเวณของส่วนหน้าของสมองส่วนที่เรียกว่า frontal lobe ของสมองซีกซ้ายมีการทำลาย เขาพบปรากฏการณ์เช่นเดียวกันนี้ในผู้ป่วยอีก 8 ราย และได้สรุปว่า “We speak with the left hemisphere” การค้นพบของ Broca นี้นับเป็นก้าวสำคัญในการศึกษาประสาทวิทยาศาสตร์ และส่วนของสมองบริเวณนั้นได้รับการตั้งชื่อว่า Broca’s area เพื่อเป็นเกียรติแก่เขา จากนั้น 9 ปีต่อมา Gustav Fritach และ Eduard Hitzig ได้ทำการทดลองโดยใช้ไฟฟ้ากระตุ้นส่วนของสมองและพบว่าสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่มีลักษณะจำเพาะในร่างกายด้านตรงข้าม นอกจากนี้เขายังพบว่าบริเวณหนึ่งๆ ของสมองจะควบคุมส่วนของร่างกายที่มีความจำเพาะกันเท่านั้น การศึกษานี้ทำให้เราสรุปได้ว่าสมองแต่ละซีกจะควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายด้านตรงข้าม

ในปี 1876 Carl Wernicke ได้รายงานผู้ป่วยที่มีความผิดปกติ ในการใช้ภาษาซึ่งมีลักษณะตรงข้ามกับผู้ป่วยของ Broca กล่าวคือ สามารถพูดได้คล่อง แต่ไม่สามารถเข้าใจในความหมายของภาษาที่ได้ยินหรืออ่านได้ Wernicke พบว่าผู้ป่วยเหล่านี้มีพยาธิสภาพอยู่ในส่วนหลังของสมองส่วนที่เรียกว่า temporal lobe ด้านซ้าย ด้วยการค้นพบนี้เขาได้พยายามประสานแนวความคิดแบบ localizationist and aggregated field view โดยสรุปว่าพฤติกรรมพื้นฐาน เช่น การคลื่อนไหวง่ายๆ หรือการรับความรู้สึก จะถูกควบคุมโดยตำแหน่งจำเพาะในสมอง และอาศัยการเชื่อมต่อของส่วนของสมองต่าง ๆ ทำให้เกิดพฤติกรรมที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

จากแนวความคิดของ Wernicke นี้เองทำให้มีผู้พยายามค้นหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งของผิวสมองและหน้าที่ที่เกี่ยวข้องตลอดจนวงจรการเชื่อมต่อ ในต้นศตวรรษที่ 20 กลุ่มนักกายวิภาคชาวเยอรมันได้แก่ Vladimir Betz, Theodor Maynert, Osker Vogt และ Korbinian Brodmann ได้ศึกษาวิธีการเรียงตัวของเซลล์ประสาทในชั้นผิวของสมองใหญ่ และด้วยวิธีนี้ Brodmann ได้แบ่งผิวสมองใหญ่ออกเป็นส่วนย่อยทั้งสิ้น 52 พื้นที่ (ส่วนย่อยแต่ละส่วนนี้เรียกกันในระยะต่อมาว่า Brodmann’s area) แผนที่ของส่วนย่อยเหล่านี้มีความแตกต่างอย่างชัดเจนกับแผนที่สมองที่ทำไว้โดย Gall

ในช่วงครึ่งแรกของศตวรรษที่ ความคิดแบบ Aggregate field view เป็นที่เชื่อถือ นักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงในยุคนั้น เช่น ประสาทแพทย์ชาวอังกฤษ Henry Head, นักจิตวิทยาชาวเยอรมัน Kurt Goldstein, นักพฤติกรรมศาสตร์ชาวรัสเซีย Ivan Pavlov หรือ นักจิตวิทยาชาวอเมริกัน Kral Lashley ต่างก็ให้ความเห็นสนับสนุนความเชื่อแบบ Aggregate field view  นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Lashley ได้พยายามหาตำแหน่งของสมองที่ทำหน้าที่ควบคุมการเรียนรู้ เขาไม่พบว่ามีส่วนใดของสมองทำหน้าที่เฉพาะต่อการเรียนรู้ แต่พบว่าความผิดปกติของการเรียนรู้มีความสัมพันธ์กับปริมาณของเนื้อสมองที่ถูกทำลาย จากการค้นพบนี้ Lashley ได้สรุปว่าปริมาณของสมอง มีความสำคัญต่อการทำงานมากกว่าความจำเพาะของตำแหน่งหรือการเรียงตัวของเซลล์ประสาท Lashley เรียกแนวคิดนี้ว่า Mass action



รูปที่ 13-3 แสดงสมองใหญ่ ที่แบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ โดยอาศัยความแตกต่างในการเรียงตัวของเซลล์ประสาท (รูปจาก http://neurosci.info/courses/systems/Cortex/brodman.html)

ด้วยความก้าวหน้าทางการแพทย์ ประสาทศัลยแพทย์ชาวแคนาดา Wilder Penfield สามารถทำการกระตุ้นผิวสมองของผู้ป่วยด้วยไฟฟ้าที่อยู่ในระหว่างการผ่าตัดสมอง แต่ผู้ป่วยไม่หมดสติ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานบริเวณของสมองที่ควบคุมการพูด ด้วยวิธีนี้ Penfield จึงเป็นคนแรกที่สามารถบอกตำแหน่งของ Broca’s และ Wernicke’s area ได้ในผู้ป่วยที่ยังมีชีวิต นอกจากนี้ยังเป็นการยืนยันว่าความถูกต้องของแนวคิดของ Wernicke เกี่ยวกับการเชื่อมต่อของส่วนของสมองต่าง ๆ ทำให้เกิดพฤติกรรม ซึ่งเป็นหลักการที่สำคัญและเป็นที่เชื่อถือมาจนถึงทุกวันนี้

ในปลายศตวรรษที่ 18 นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี Luigi Galvani ได้ค้นพบว่ากล้ามเนื้อสามารถสร้างประจุไฟฟ้าได้ และยังพบว่าเมื่อนำแท่งโลหะไปแตะกับเส้นประสาทที่ไปยังกล้ามเนื้อในขณะที่มีการสปาร์คไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์จะทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเมื่อนั้น การค้นพบของ Galvani ทำให้สรุปได้ว่าเส้นประสาทควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ต่อมาปลายศตวรรษที่ 19 จิตแพทย์ชาวเยอรมัน Hans Berger ได้ตั้งสมมติฐานว่าการสื่อสารกันภายในระบบประสาทส่วนกลางนั้นน่าจะเป็นประจุไฟฟ้าเช่นเดียวกัน Berger พยายามที่จะวัดคลื่นไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสมองตามสมมติฐานนั้นแต่ไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในระยะแรกมีความละเอียดไม่เพียงพอ จนกระทั่งถึงปี 1924 เขาก็สามารถวัดคลื่นไฟฟ้าจากสมองได้เป็นครั้งแรก ซึ่งคลื่นที่เกิดขึ้นนี้มีความต่างศักย์เพียงไมโครโวลท์ เราเรียกคลื่นไฟฟ้านี้ว่า Electroencephalogram (EEC) ซึ่งยังคงใช้ประโยชน์ในการตรวจผู้ป่วยโรคระบบประสาทบางชนิด เช่น โรคลมชัก มาจนถึงปัจจุบัน

************************************

## ตอนที่ 1
## บทนำระบบประสาท (Introduction to Nervous System)

ระบบประสาท (Nervous system) ของมนุษย์มีการพัฒนาสูงสุด ทำให้ร่างกายมนุษย์สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งภายในร่างกายเอง เช่น ความรู้สึกหิว อิ่ม การนอนหลับ การตื่น เป็นต้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม เช่น อากาศร้อน-เย็น การเผชิญกับภาวะวิกฤตต่างๆ ระบบประสาทจะทำหน้าที่ควบคุมและประสานการทำงานของอวัยวะในระบบอื่น ๆ ของร่างกาย เช่น ระบบหายใจ ระบบไหลเวียนโลหิต ระบบการย่อยอาหารให้อยู่ในภาวะสมดุล

โครงสร้างของระบบประสาทมนุษย์ มีการศึกษามานาน เริ่มต้นจากการศึกษาในมนุษย์ที่เสียชีวิตแล้ว วิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบประสาท เรียกว่า **Neuroanatomy** วิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบประสาท เรียกว่า **Neurophysiology** ในทางเภสัชวิทยาศึกษาเกี่ยวกับยาที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท เรียกว่า **Neuropharmacology** ในทางการแพทย์มีวิชา **Neurology** เกี่ยวข้องกับโรคของระบบประสาท และ **Neurosurgery** เกี่ยวกับการผ่าตัดในระบบประสาท ซึ่งศาสตร์เหล่านี้มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน อาจเรียกรวม ๆ ว่า **Neuroscience**

### 1.1 ประเภทของระบบประสาท

ระบบประสาท แบ่งตามกายวิภาคศาสตร์ ได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

**1.1.1 ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System, CNS)** ประกอบด้วย สมอง (brain) และไขสันหลัง (spinal cord) ทำหน้าที่รับข้อมูลต่างๆ การผสมผสานสัญญาณต่างๆ ที่เข้าและออกจากระบบประสาทรวม ทั้งการทำหน้าที่เกี่ยวกับความนึกคิด การเรียนรู้ และสติปัญญา

**1.1.2 ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Nervous System, PNS)** ประกอบด้วย

**1) เส้นประสาทสมอง (Cranial nerve)** มี 12 คู่ เป็นเส้นประสาทที่ออกมาจากสมองเป็นคู่ ๆ เพื่อรับสัญญาณ ความรู้สึก และออกคำสั่งควบคุมหน่วยปฏิบัติงานให้ตอบสนองต่อสิ่งเร้า

**2) เส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerve)** มี 31 คู่ เป็นเส้นประสาทที่แยกออกจากไขสันหลังเพื่อทำหน้าที่รับความรู้สึกและสั่งการไปยังหน่วยปฏิบัติงาน (effectors) เช่น กล้ามเนื้อ หรือต่อมต่างๆ

ระบบประสาทส่วนปลาย แบ่งเป็น 2 ระบบคือ

**1. ระบบประสาทรับความรู้สึก (sensory system)** เป็นระบบที่นำกระแสประสาทเข้าสู่ส่วนกลาง ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (neuron หรือ nerve cell) ซึ่งจะนำกระแสประสาทจากตัวรับ (receptors) เข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง เรียกเซลล์ประสาทนี้ว่า เซลล์ประสาทนำเข้า (afferent neuron หรือ sensory neuron)

**2. ระบบประสาทสั่งการ (motor system)** เป็นระบบที่นำกระแสประสาทจากระบบประสาทส่วนกลาง ไปยังหน่วยปฏิบัติงาน (effectors) ระบบประสาทสั่งการ แบ่งเป็น 2 ระบบ ดังนี้

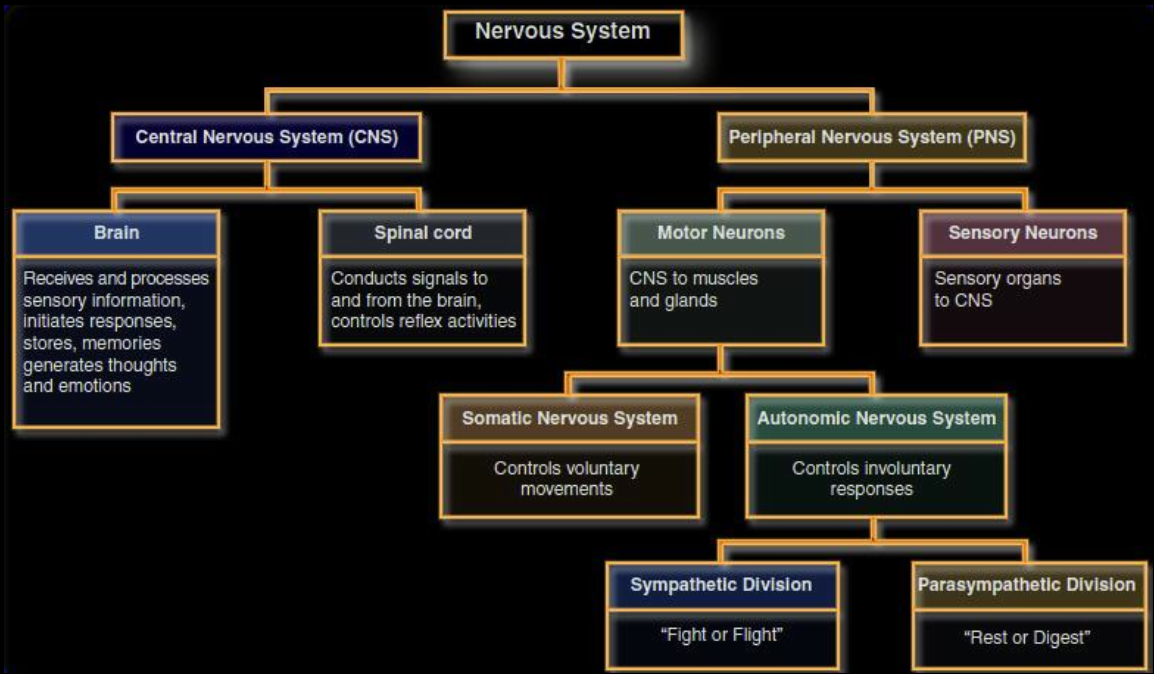
**2.1 ระบบประสาทโซมาติก (Somatic Nervous System, SNS)** มีหน้าที่ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย ระบบประสาทโซมาติกประกอบด้วยเซลล์ประสาทนำออก (efferent neuron) เป็นระบบที่อยู่ใต้อำนาจจิตใจ เซลล์ประสาทรับความรู้สึกจะรับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกผ่านเส้นประสาทสมองหรือเส้นประสาทไขสันหลัง เข้าสู่สมองหรือไขสันหลัง เพื่อแปลผลและสั่งการ จากนั้นกระแสประสาทจะถูกส่งผ่านเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองไปยังหน่วยปฏิบัติงานซึ่งเป็นกล้ามเนื้อลาย

**2.2 ระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic Nervous System, ANS)** ทำหน้าที่ควบคุมกล้าม เนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ และต่อมต่างๆ ระบบประสาทอัตโนมัติแบ่งเป็น

1) ระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic nervous system)

2) ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (parasympathetic nervous system)

โดยปกติแล้วระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติก จะควบคุมการทำงานของแต่ละอวัยวะในทิศทางที่ตรงข้าม (antagonistic effect) เช่น ระบบซิมพาเทติกจะกระตุ้นให้หัวใจเต้นเร็วและแรงขึ้น แต่ระบบพาราซิมพาเทติก จะทำให้หัวใจเต้นช้าลง เพื่อรักษาสมดุลของร่างกาย



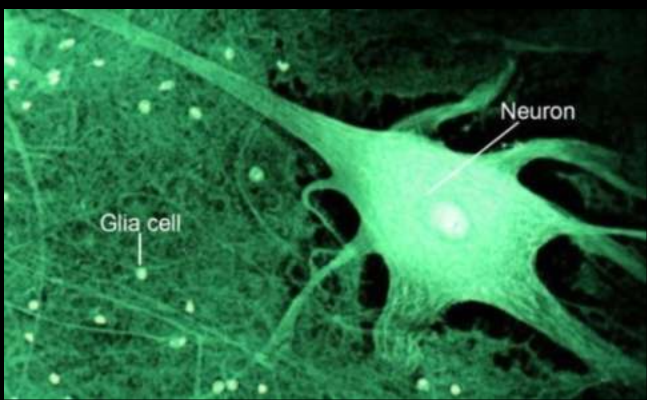

รูปที่ 13-4 แผนผังการจำแนกโครงสร้างของระบบประสาท

## 1.2 เนื้อเยื่อประสาท (Nervous tissue)

ระบบประสาทประกอบด้วยเนื้อเยื่อประสาท ซึ่งประกอบด้วยเซลล์หลัก 2 ชนิด ได้แก่

**1.2.1 เซลล์ประสาท (Neurons หรือ Nerve cells)** เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่หลักในระบบประสาท

**1.2.2 เซลล์ค้ำจุนเซลล์ประสาท (Neuroglia หรือ Glia cells หรือ Supporting cells)** เซลล์ค้ำจุนประกอบด้วย Glia cells ในประสาทส่วนกลาง, Schwann cells ในประสาทส่วนปลาย และ Satellite cells ในปมประสาทสมองและไขสันหลัง




รูปที่ 13-5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ แสดงเซลล์ประสาท (Neuron) และเซลล์ค้ำจุนเซลล์ประสาท (Glia cell)

**1.2.1 เซลล์ประสาท (Nerve cells, Neuron)**

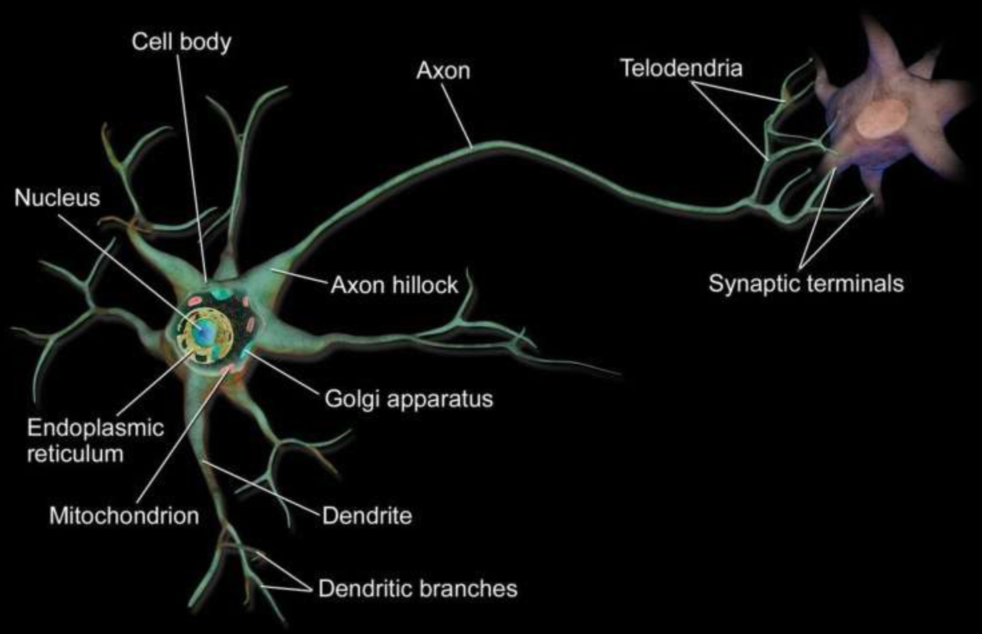
เซลล์ประสาท ประกอบด้วยตัวเซลล์ประสาท (nerve cell body, soma, perikaryon) กับส่วนที่ยื่นออกไปจากเซลล์ (process) ส่วนที่อยู่รอบนิวเคลียส เรียกว่า perikaryon ส่วนที่ยื่นออกไปจาก perikaryon แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามหน้าที่  ดังนี้

**1) Receptive portion** เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซลล์อื่น ประกอบด้วย dendrite, บางส่วนของตังเซลล์ประสาท (cell body) และแอกซอน (axon)

**2) Initial segment** เป็นส่วนที่เริ่มคลื่นประสาท ได้แก่ ส่วนแอกซอน ฮิลลอก (axon hillock) ตรงจุดนี้มี threshold ต่อการกระตุ้นต่ำสุด หรือมีความไวต่อการกระตุ้นสูงสุด เนื่องจากมีช่องทางโซเดียมหนาแน่นมาก จึงเป็นส่วนที่เริ่มเกิดคลื่นไฟฟ้า (action potential) แล้วเคลื่อนที่ไปสู่แอกซอน

**3) Conducting portion** เป็นส่วนนำสัญญาณประสาทออกไปจากตัวเซลล์ประสาท ได้แก่แอกซอน และใยประสาท ที่แอกซอนนี้ อาจพบมีปลอกหุ้มและไม่มีปลอกหุ้ม ปลอกที่หุ้มเรียกว่า myelin sheath ประกอบด้วย myelin ซึ่งเป็นชั้นของไขมันและโปรตีนพันรอบๆ แอกซอนที่มีปลอกหุ้มจะสามารถนำสัญญาณได้เร็วกว่าชนิดที่ไม่มีปลอกหุ้ม แอกซอนจะยายหรือสั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ประสาท และอาจแตกแขนงไปเชื่อมต่อกับหลาย ๆ เซลล์ได้ แอกซอนยิ่งโตจะยิ่งมี threshold ต่อการกระตุ้นต่ำและนำคลื่นประสาทได้เร็ว

**4) Effector portion หรือ Transmitting portion** เป็นส่วนที่ส่งสัญญาณไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ หรือเซลล์กล้ามเนื้อหรือต่อมต่างๆ บริเวณนี้ ได้แก่ ส่วนปลายของแอกซอน (nerve terminal)  เรียกจุดนี้ว่า ซินแนปส์ (synapse) ซึ่งมีการปล่อยสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ออกมา สารสื่อประสาทเหล่านี้อาจทำหน้าที่กระตุ้นหรือยับยั้งการทำงานของเซลล์ถัดไป

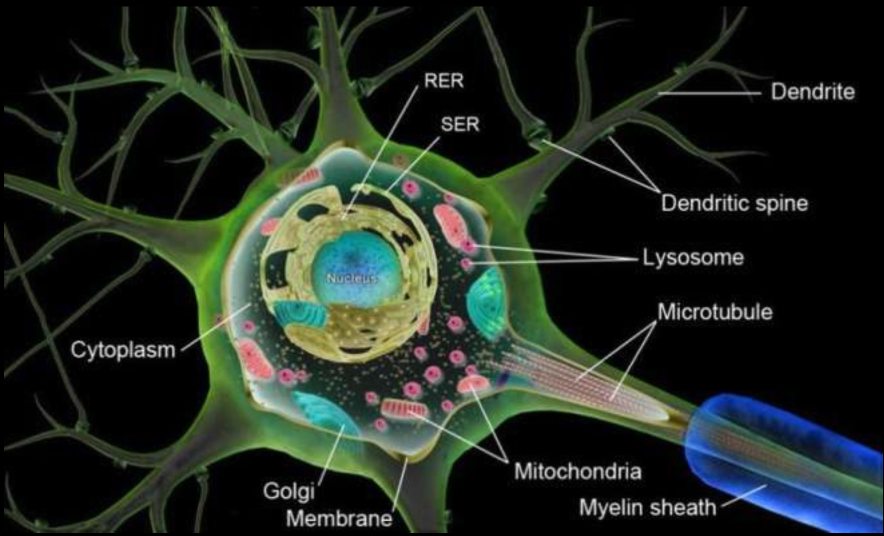



รูปที่ 13-6 แสดงโครงสร้างของเซลล์ประสาท (Nerve cell, Neuron)

**1.2.1.1 ตัวเซลล์ประสาท (Nerve cell body)**

ภายในตัวเซลล์ประสาทประกอบด้วยออร์กาเนลเหมือนเซลล์ทั่วไป ตัวเซลล์ประสาทเกือบทั้งหมดจะไม่มีเซ็นโตรโซม (centrosome) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซลล์ประสาทจะไม่มีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนและการเจริญพันธุ์ ดังนั้น

เมื่อเซลล์ประสาทตายก็จะไม่มีเซลล์ใหม่มาแทนที่ ในระบบประสาทส่วนกลาง ตัวเซลล์ประสาทจะอยู่กันเป็นกลุ่ม เรียกว่า **nucleus** แต่ละ nucleus จะมีบทบาทและหน้าที่แตกต่างกันไป




รูปที่ 13-7 แสดงโครงสร้างภายในของตัวเซลล์ประสาท

### 1.2.1.2 Nucleus

รูปร่างกลม โดยปกติจะอยู่กลางเซลล์ ยกเว้นเซลล์ประสาทที่อยู่ในไขสันหลังและเซลล์ในปมประสาทอัตโนมัติ ภายในนิวเคลียสมี nucleolus ขนาดใหญ่และชัดเจน

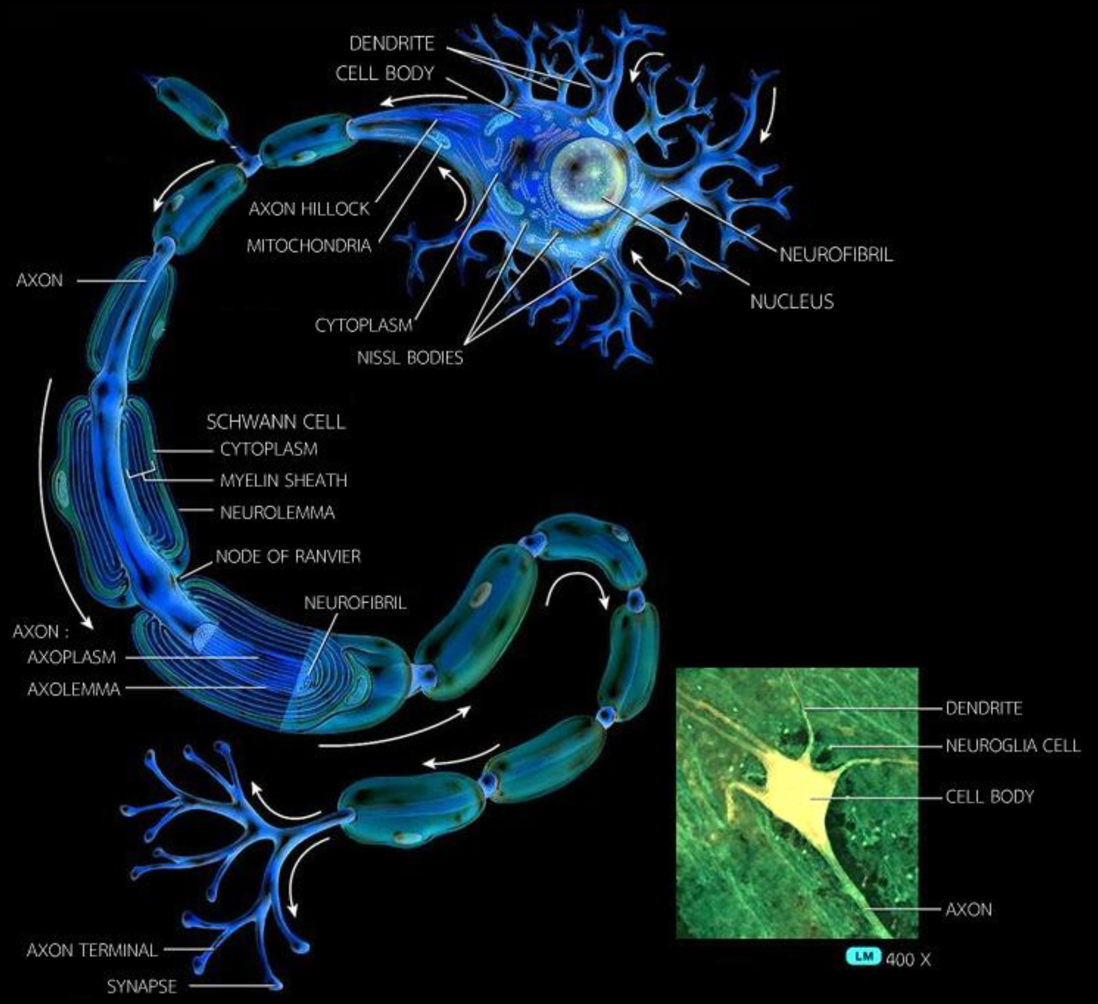
### 1.2.1.3 Cytoplasm

Cytoplasm ของตัวเซลล์ประสาท ประกอบด้วย ribosome, endoplasmic reticulum, Golgi apparatus, mitochondria microtubule, lysosome นักพยาธิวิทยาชาวเยอรมัน ชื่อ Nissl พบว่า เมื่อย้อมเซลล์ประสาทด้วยสาร basic aniline dyes จะพบแกรนูลเล็กๆ รวมกันเป็นกลุ่มๆ ต่อมาเรียกว่า Nissl body ซึ่งถือเป็นลักษณะพิเศษของเซลล์ประสาท จากการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอน แสดงให้เห็นว่า Nissl body ประกอบด้วยกลุ่มของ endoplasmic reticulum รวมกับ ribosome

การที่เซลล์ประสาทมี nucleolus ขนาดใหญ่ และมี endoplasmic reticulum มาก เป็นการแสดงว่าเซลล์มีการสังเคราะห์โปรตีนอย่างมากเพื่อใช้ในการส่งสัญญาณประสาท การสังเคราะห์นี้มิได้มีเพื่อการเจริญเติบโตของเซลล์หรือเพื่อการแบ่งตัวของเซลล์แต่อย่างใด

### 1.2.1.4 Dendrites

เดนไดรต์ เป็นส่วนที่ยื่นออกจากตัวเซลล์ประสาท ภายในเดนไดรต์ จะมีองค์ประกอบคล้ายกับในตัวเซลล์ประสาท ยกเว้น นิสเซส บอดี้ Nissl body ที่จะมีเฉพาะส่วนต้นเท่านั้น เดนไดรต์มีหน้าที่นำกระแสประสาทเข้าสู่เซลล์ประสาท




รูปที่ 13-8 แสดงโครงสร้างของ neuron, dendryte และ axon

### 1.2.1.5 Axon (แอกซอน)

แอกซอน เป็นใยประสาทที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์ ไปยังเซลล์ประสาทตัวอื่น ๆ หรือไปยังอวัยวะแสดงผล เช่น กล้ามเนื้อและต่อมต่างๆ เซลล์ประสาทตัวหนึ่งๆ จะมีแอกซอนเพียงหนึ่งแอกซอนเท่านั้น โดยเป็นส่วนยื่นของเซลล์ที่ยาวทำหน้าที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์ ภายในแอกซอนไม่มีนิสเซส บอดี้ และจุดที่แอกซอนออกจากตัวเซลล์ประสาทมีลักษณะนูนขึ้นเรียกว่า **แอกซอน ฮิลล็อค (axon hillock)** ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดกระแสประสาท และต่อเนื่องตลอดความยาวของแอกซอน

ส่วน plasma membrane ของแอกซอน เรียกว่า axolemma องค์ประกอบภายในของแอกซอน เรียกว่า exoplasm ส่วนปลายสุดแอกซอน เรียกว่า axon terminal ซึ่งจะมีลักษณะป่องออกมา เรียกว่า **terminal bouton** ไปซิแนปส์ (synapse) กับเซลล์ประสาทตัวอื่น

เปลือกหุ้มแอกซอนจะมี 3 ชั้น ดังนี้

**1. ชั้นในสุด** เรียกว่า **ปลอกหรือเยื่อไมอีลิน (myelin sheath)** จะทำหน้าที่ป้องกันอันตรายและเป็นฉนวนกั้นการถ่ายเทประจุไฟฟ้า ระหว่างข้างนอกกับข้างในแอกซอน นอกจากนี้ยังช่วยให้กระแสประสาทเดินทางได้เร็วขึ้น เนื่องจากมี**โนดออฟแรนเวียร์ (node of Ranvier)** ซึ่งเป็นส่วนของแอกซอนตรงบริเวณรอยต่อระหว่างเซลล์ชวันน์แต่ละเซลล์ที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้มอยู่เป็นระยะๆ โดยช่วงความยาวระหว่างโนดออฟแรนเวียร์ เรียกว่า อินเตอร์โนด

(internode) ซึ่งจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับความยาวของแอกซอน กระแสประสาทจะเดินทางได้เร็ว เมื่อเส้นใยประสาทนั้นมีเปลือกหุ้ม

**2. ชั้นกลาง** เรียกว่า **เยื่อนิวริเล็มม่า (neurilemma sheath)** ชั้นนี้มีเซลล์ที่เรียกว่า เซลล์ชวันน์ (Schwann cells) อยู่ โดยจะมีหนึ่งเซลล์ต่อหนึ่งอินเตอร์โนด ตลอดความยาวของแอกซอน และมีไซโทพลาซึมของเซลล์ชวันน์ เป็นนิวริเล็มม่า

**3. ชั้นนอกสุด** เรียกว่า **เอ็นโดนิวเรียม (endoneurium)** เป็นเนื้อเยื่อยึดต่อที่หุ้มแอกซอนไว้ทั้งอัน

แอกซอนที่มีปลอกหรือเยื่อไมอีลินหุ้ม เรียกว่า **ใยประสาทไมอีลินเนท (myelinated nerve fiber)** มักจะเป็นเส้นประสาทที่หนาและมีขนาดใหญ่ ส่วนแอกซอนที่ไม่มีปลอกหรือเยื่อไมอีลินหุ้มเรียกว่า **ใยประสาทอันไมอีลินเนท (unmyelinated nerve fiber)** มักมีขนาดเล็ก โดยปลอกหรือเยื่อไมอีลินในระบบประสาทรอบนอก จะสร้างโดยเซลล์ชวันน์ (Schwann cells) ส่วนเยื่อไมอีลินในระบบประสาทส่วนกลางจะสร้างโดยเซลล์ โอริโกเดนโดรเกลีย (oligodendroglia)

เดนไดรต์ ต่างจากแอกซอน คือ ส่วนมากมักไม่มีปลอกหุ้มและที่ปลายมีส่วนที่ยื่นออกไปเป็นหนามเล็กๆ เรียกว่า **spine** ซึ่งเป็นที่สำหรับเชื่อมต่อกับกิ่งแอกซอนหรือเดนไดรต์อื่นๆ

**1.2.1.6 การแบ่งชนิดของเซลล์ประสาท**

**1. แบ่งตามความยาวของ Axon** ได้ 2 ชนิด คือ

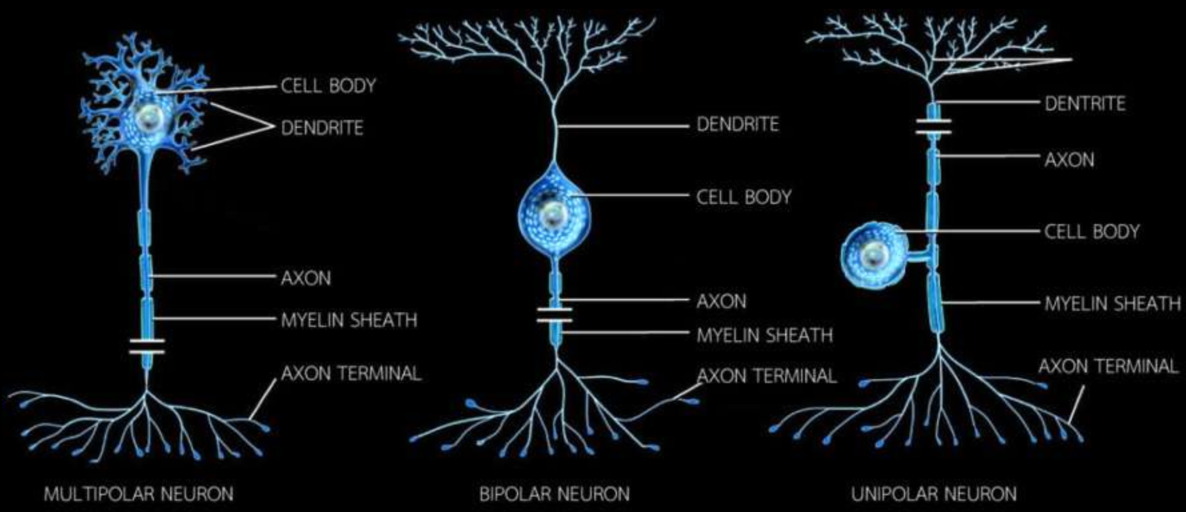
**1.1 Golgi type I** ได้แก่ เซลล์ประสาทที่มี axon ยาวๆ เช่น pyramidal cells

**1.2 Golgi type II** ได้แก่ เซลล์ประสาทที่มี axon สั้นๆ พบได้ทั่วไป

**2. แบ่งตามจำนวนของ Process** ที่ยื่นออกจากเซลล์ มี 3 ชนิด คือ

**2.1 เซลล์ประสาทขั้วเดียว (Unipolar neuron)** ได้แก่ เซลล์ประสาทที่มีส่วนที่ยื่นแยกจากตัวเซลล์เพียง 1 เส้น แล้วแยกออกเป็นแขนงกลาง ทำหน้าที่เป็นแอกซอน และส่วนที่เป็นแขนงปลาย ทำหน้าที่เป็นเดนไดรต์ พบได้ที่ปมประสาทด้านหลังของไขสันหลัง ปมประสาทของประสาทสมองคู่ที่ 5

**2.2 เซลล์ประสาทสองขั้ว (bipolar neuron)** ส่วนใหญ่เป็นเซลล์ประสาทรับความรู้สึกที่มีส่วนที่ยื่นแยกจากตัวเซลล์ 2 ข้าง คือมี 1 เดนไดรต์ และ 1 แอกซอน พบได้ที่เซลล์ประสาทบริเวณเรตินาในดวงตา เซลล์รับกลิ่นในจมูกและเซลล์ของหูชั้นใน



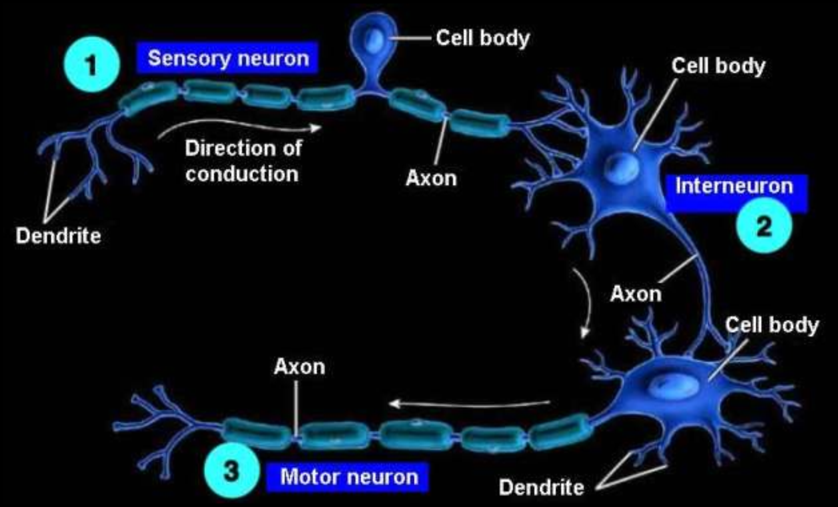

รูปที่ 13-9 แสดงเซลล์ประสาทแบ่งตามจำนวน process ที่ยื่นออกจากเซลล์

**3. แบ่งตามหน้าที่**

**3.1 เซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neurons)** เป็นเซลล์ประสาทนำเข้า (afferent neuron) ซึ่งนำกระแสประสาทจากตัวรับความรู้สึกในผิวหนังและอวัยวะรับความรู้สึก ไปยังสมองและไขสันหลัง

**3.2 เซลล์ประสาทประสานงาน (association neurons หรือ interneurons)** เป็นเซลล์ประสาทที่อยู่ในสมองและไขสันหลัง มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึกและประสาทสั่งการ

**3.3 เซลล์ประสาทสั่งการ (motor neurons)** เป็นเซลล์ประสาทนำออก (efferent neurons) ที่มีใยประสาทแอกซอนยาวกว่าเดนไดรต์ โดยอาจยาวถึง 1 เมตร มีหน้าที่ส่งกระแสประสาทออกจากไขสันหลังไปยังหน่วยปฏิบัติงาน ได้แก่ กล้ามเนื้อแขนขา ที่อยู่ห่างไกลจากไขสันหลัง




รูปที่ 13-10 แสดงเซลล์ประสาท Sensory neuron, Motor neuron และเซลล์ประสาท Interneuron

**1.3 Nerve fiber (เส้นใยประสาท)**

Nerve fiber หมายถึง axon รวมกับเปลือกที่หุ้ม ได้แก่ myelin sheath, sheath of Schwann และ endoneurium หลายๆ เส้นใยประสาทจะรวมกันเป็นมัด **fascicle** และ หลายๆ fascicle รวมกันเป็น **nerve**

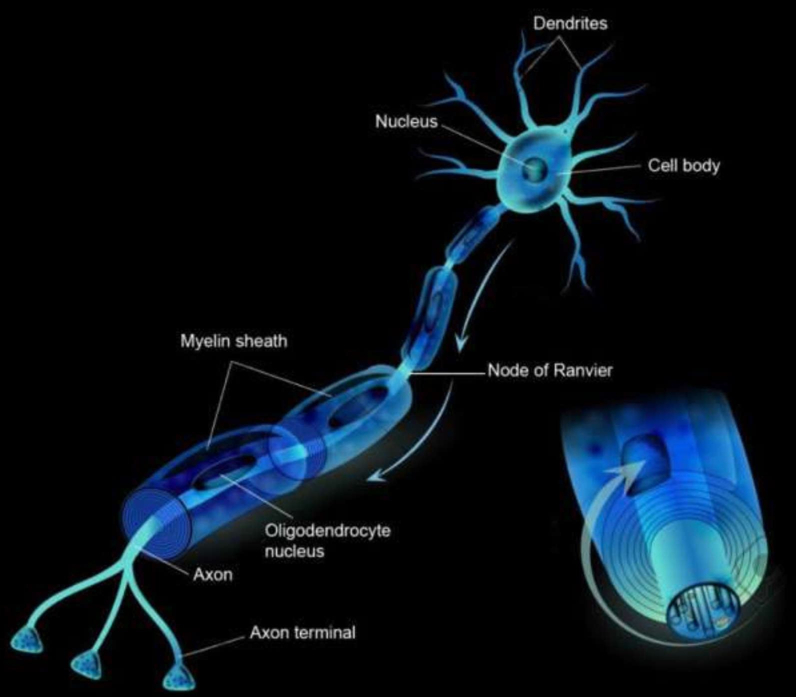
**Nerve fiber** แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

**1. Myelinated nerve fiber** หมายถึง เส้นใยประสาทที่มี myelin sheath หุ้ม myelin เป็นสารพวกไขมัน ในระบบประสาทส่วนกลาง myelin สร้างจากเซลล์ oligodendrocyte ส่วนในประสาทส่วนปลายสร้างจากเซลล์ Schwann cells ลักษณะของ myelin sheath จะเป็นปล้อง (segment) แต่ละปล้องยาวประมาณ 0.5-1 mm. ระหว่างปล้องจะมีช่องว่าง เรียกว่า **Node of Ranvier** ซึ่งจะไม่มี myelin หุ้ม

ในระบบประสาทส่วนกลางเซลล์ oligodendrocyte 1 ตัว สามารถจะให้ myelin ไปหุ้ม axon ได้ถึง 30-60 axon แต่ในประสาทส่วนปลาย Schwann cells 1 ตัว หุ้ม axon ได้เพียง 1 axon เท่านั้น

**2. Unmyelinated nerve fiber** หมายถึง เส้นใยประสาทที่ไม่มีเปลือกหุ้ม

Axon ที่มีขนาดใหญ่และมีเปลือกหุ้ม จะสามารถนำสัญญาณประสาทได้เร็วกว่า axon ที่มีขนาดเล็กและไม่มีเปลือกหุ้ม

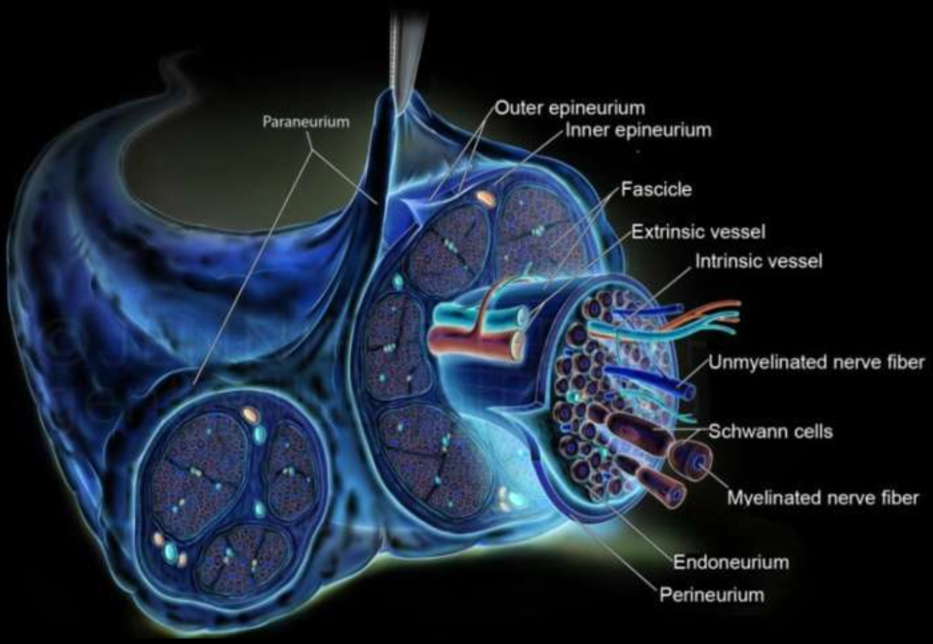



รูปที่ 13-11 แสดง Myelinated nerve fiber ในระบบประสาทส่วนกลาง

**Nerve (เส้นประสาท)**

หมายถึง กลุ่มของเส้นใยประสาทที่รวมกันเป็นมัด (fascicle) และมีเนื้อเกี่ยวยึดต่อหุ้มไว้ สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น sciatic nerve

ถ้านำเส้นประสาทมาตัดตามขวางจะพบว่ามีเนื้อเกี่ยวพันหุ้มรอบเส้นประสาททั้งเส้น เรียกว่า **epineurium** ส่วนที่หุ้มแต่ละ fascicle เรียก **perineurium** และที่หุ้มแต่ละ nerve fiber เรียก **endoneurium**




รูปที่ 13-12 แสดง epineurium, perineurium และ endoneurium

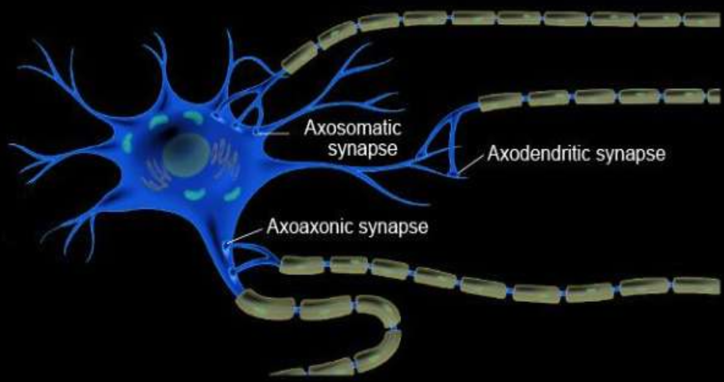
### 1.4 Synapse

หมายถึง บริเวณที่ปลายของ axon ของเซลล์ตัวหนึ่งมาสัมผัสกับส่วน cell body, dendrite หรือ axon ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง ส่วนปลายของ axon ที่จะมาประกอบขึ้นเป็น synapse จะมีลักษณะป่องออก เรียกว่า bouton ซึ่งจะไปสัมผัสกับส่วนต่างๆ ของเซลล์อีกตัวหนึ่ง Synapse แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

**1. Axodendritic synapse** เกิดจาก axon terminal ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งไป synapse กับ dendrite ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง แบบนี้พบมากที่สุด

**2. Axosomatic synapse** เกิดจาก axon terminal ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งไป synapse กับ body ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง

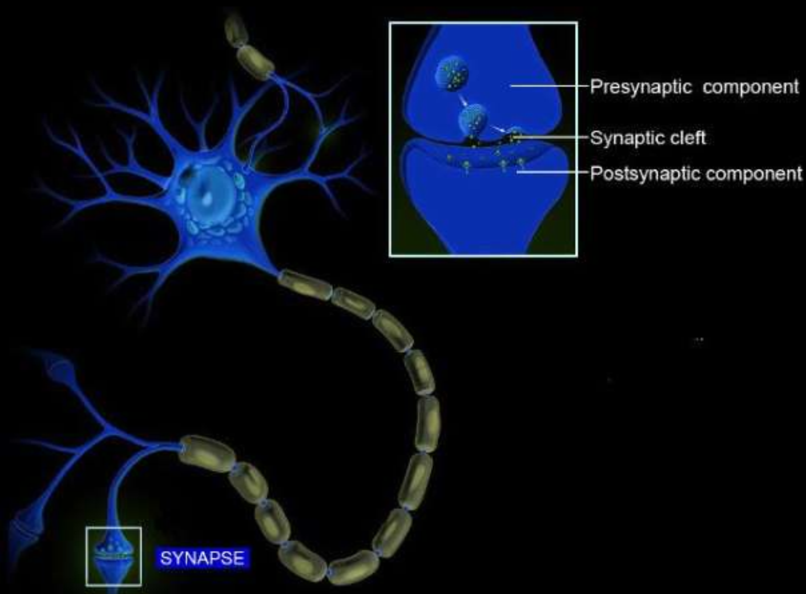
**3. Axoaxonic synapse** เกิดจาก axon terminal ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งไป synapse กับ axon ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง แบบนี้พบน้อยที่สุด




รูปที่ 13-13 แสดงลักษณะของ synapse ชนิดต่างๆ

**ลักษณะโครงสร้างของ Synapse** ประกอบไปด้วย

**1. บริเวณก่อนซิแนปส์ (presynaptic components)** เป็นบริเวณส่วนปลายแอกซอนซึ่งมีถุงซิแนปส์ที่มีสารสื่อประสาทอยู่ภายใน (synapse vesicle)




รูปที่ 13-14 ลักษณะโครงสร้างของ Synapse

**2. ช่องซิแนปส์ (synaptic cleft)** เป็นช่องว่างระหว่างเยื่อบุก่อนซิแนปส์ (presynaptic membrane) กับหลังซิแนปส์ (postsynaptic membrane) มีความกว้างประมาณ 100 - 200 อังสตรอม

**3. บริเวณหลังซิแนปส์ (postsynaptic components)** ประกอบด้วยเยื่อบุ ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่งซึ่งหนาขึ้น เรียกเยื่อบุหลังซิแนปส์ (postsynaptic membrane) ตรงบริเวณนี้มีตัวรับ (receptor) สำหรับสารสื่อประสาทโดยเฉพาะ

### 1.2.2 Neuroglia (เซลล์ค้ำจุนในระบบประสาท)

เซลล์ค้ำจุนในระบบประสาท จะมีจำนวนมากกว่าเซลล์ประสาทประมาณ 5 เท่า เซลล์พวกนี้ทำหน้าที่เป็นโครงให้กับเนื้อเยื่อประสาท ช่วยค้ำจุน ให้อาหารและทำหน้าที่เป็นฉนวน ในระบบประสาทส่วนกลางมี เซลล์ค้ำจุน 4 ชนิด ได้แก่ astroglia, oligodendrocytes, microglia และ ependymal cells ส่วนในระบบประสาทส่วนปลายมีเซลล์ค้ำจุน 2 ชนิด ได้แก่ satellite cells และ Schwann cells

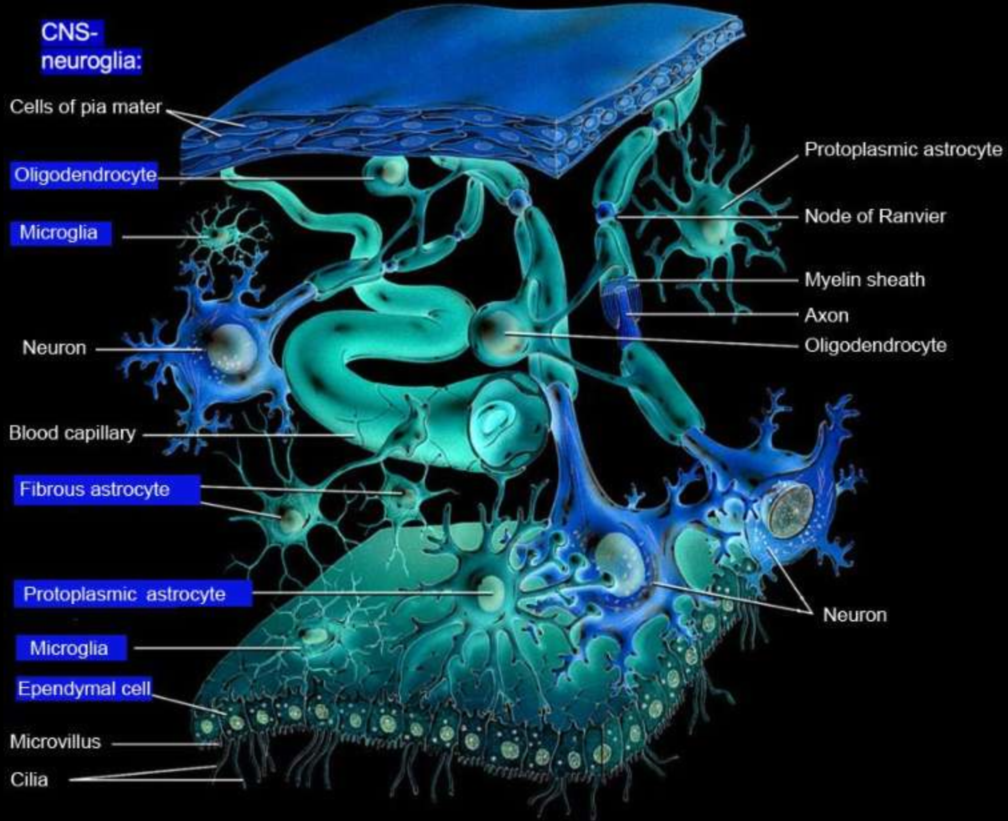
**เซลล์ค้ำจุนในระบบประสาทส่วนกลาง** แต่ละชนิด มีหน้าที่ ดังนี้

**1. แอสโตรเกลียหรือแอสโตรไซต์ (Astroglia or Astrocytes)** ช่วยควบคุมควบคุมการซึมผ่านเข้าออกของสารเคมีต่างๆ จากเส้นเลือดสู่เนื้อเยื่อประสาท (blood–brain barrier)

**2. โอลิโกเดนโดไซต์ (Oligodendrocytes)** สร้างเยื่อไมอีลินในระบบประสาทส่วนกลาง

**3. ไมโครเกลีย (Microglia)** ทำหน้าที่เก็บกินสิ่งแปลกปลอมหรือเซลล์ที่ตายแล้ว

**4. Ependymal cells** เป็นเซลล์ที่คาดที่ผนังของช่องว่างในสมอง ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างและดูดซึมน้ำไขสันหลัง




รูปที่ 13-15 แสดงเซลล์ค้ำจุนเซลล์ประสาท

**เซลล์ค้ำจุนในระบบประสาทส่วนปลาย** แต่ละชนิด มีหน้าที่ ดังนี้

**1. Satellite cell** : เป็นเซลล์ขนาดเล็กที่เกาะอยู่ที่ผิวของเซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนปลาย ทำหน้าที่สร้าง myelin และ neurolemmal sheaths หุ้มเส้นประสาทส่วนปลาย และช่วยปรับสภาพองค์ ประกอบทางเคมีภายนอกเซลล์

**2. Schwann's cell** : อยู่ล้อมรอบเซลล์ประสาทในปมประสาท เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้าง myelin sheath ห่อหุ้ม axon ในระบบประสาทส่วนปลาย

**1.5 Ganglion (ปมประสาท)**

หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ประสาท ซึ่งอยู่นอกระบบประสาทส่วนกลาง แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

**1. Sensory ganglion** หมายถึง ปมประสาทรับความรู้สึก เช่น dorsal root ganglion

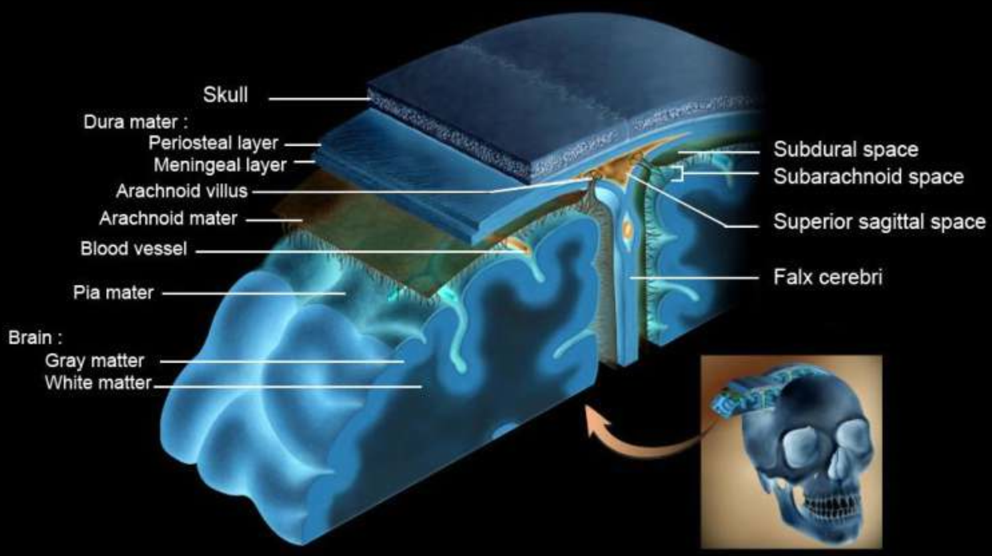
**2. Autonomic ganglion** หมายถึง ปมประสาทอัตโนมัติ มี 2 ชนิด คือ ปมประสาท sympathetic ganglion และ parasympathetic ganglion ดูรายละเอียดในระบบประสาทอัตโนมัติ

**1.6 Meninges (เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง)**

เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง มี 3 ชั้น ได้แก่

**1. ชั้นนอกสุด (Dura mater)** ชั้นนี้มีความหนา เหนียวและแข็งแรง ทำหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือนให้กับส่วนที่เป็นเนื้อสมองและไขสันหลัง ช่องระหว่าง dura mater กับกะโหลกศีรษะ เรียกว่า **epidural space**

**2. ชั้นกลาง (Arachnoid mater)** เป็นชั้นบางๆ แยกจากชั้นดูราด้วยช่องว่างที่เรียกว่า **subdural space**




รูปที่ 13-16 แสดงเยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง

**3. ชั้นในสุด (Pia mater)** เป็นชั้นที่แนบสนิทไปตามรอยโค้งเว้าของสมองและไขสันหลัง มีเส้นเลือดมาเลี้ยงมากที่สุด เพื่อนำสารอาหารและออกซิเจนมาเลี้ยงสมองและไขสันหลัง

ระหว่างเยื่อหุ้มสมองชั้นกลางกับชั้นในเป็นช่องว่าง เรียกว่า **subarachnoid space** ซึ่งเป็นที่อยู่ของน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (cerebrospinal fluid : CSF)

เยื่อหุ้มสมองจะมีหลอดโลหิตแดงมาเลี้ยง ที่สำคัญมีหนึ่งเส้นตรงบริเวณทัดดอกไม้ ซึ่งอยู่เหนือใบหู เรียกว่า middle meningeal artery ถ้ากะโหลกศีรษะแตกที่บริเวณนี้จะไปบาดถูกหลอดเลือดนี้ ทำให้เกิดเลือดออกขังอยู่นอก dura mater เรียกว่า epidural hemorrhage จำเป็นต้องรีบผ่าตัดเอาก้อนเลือดออก

**1.7 Ventricle (ช่องว่างภายในสมอง)**

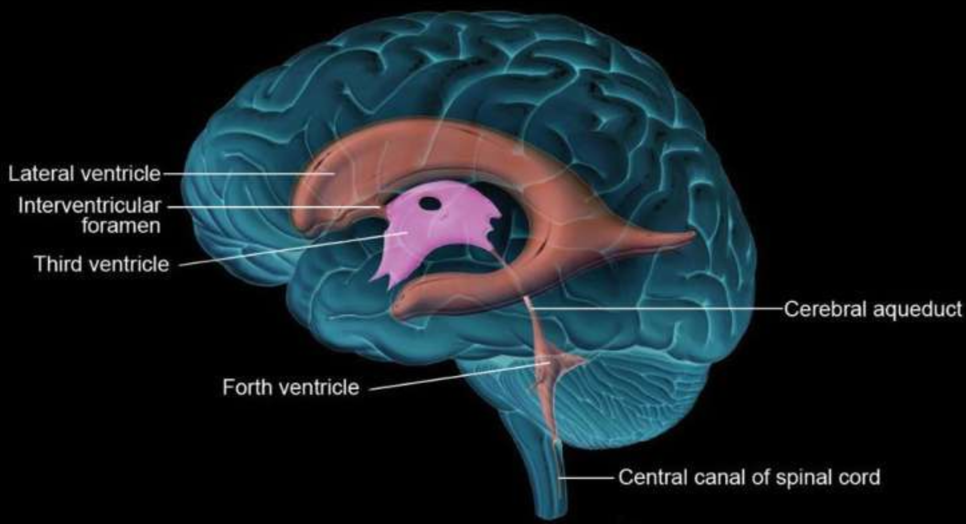
ภายในเนื้อสมองจะมีช่องว่างซึ่งจะมีน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลังบรรจุอยู่ ช่องว่างนี้ เรียกว่า **ventricles** มีทั้งหมด 4 ช่อง ได้แก่

**1. Lateral ventricle** เป็นช่องว่างที่อยู่ภายใน cerebral hemisphere ทั้ง 2 ข้าง เรียกว่า left lateral ventricles และ right lateral ventricles ช่องว่างนี้ติดต่อถึงกันได้ทางช่องชื่อ Foramen of Monro และติดต่อกับช่องว่างที่ 3

**2. Third ventricle** เป็นช่องว่างที่อยู่ในส่วนของทาลามัส

**3. Fourth ventricle** เป็นช่องว่างที่อยู่ใต้สมองน้อย และอยู่บนหลังคาของ pons ช่องนี้ติดต่อกับ third ventricles ทางท่อ cerebral aqueduct (aqueduct of Sylvius)

fourth ventricle จะมีทางติดต่อกับ subarachnoid space ทางรูที่อยู่ตรงกลาง ชื่อ foramen of Magendie และรูข้างๆ ชื่อ foramen of Luschka

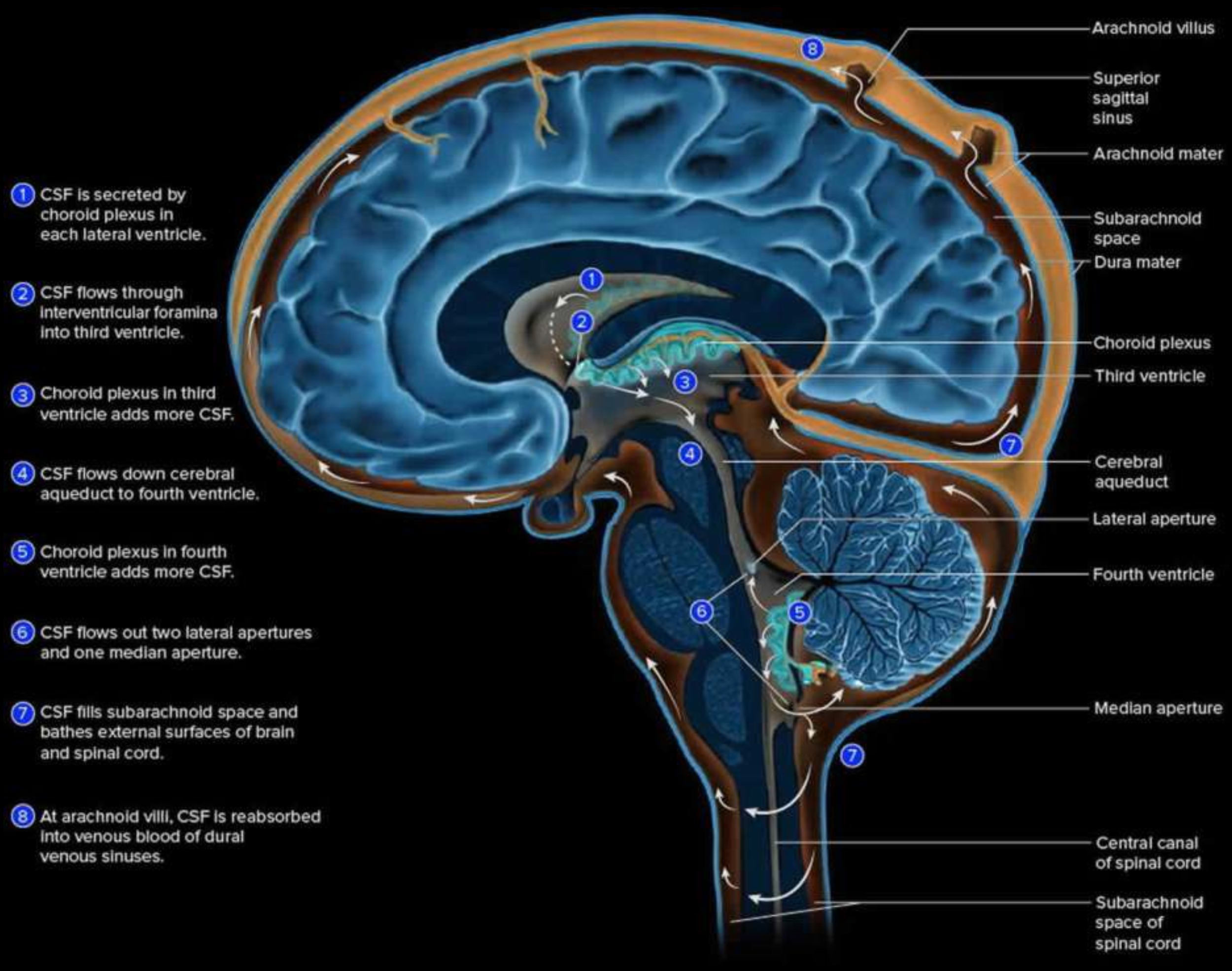



รูปที่ 13-17 แสดงช่องว่างภายในสมอง (ventricle)

**1.8 Cerebrospinal fluid, CSF (น้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง)**

น้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง สร้างมาจากคอรอยด์ เพล็กซัส (choroid plexus) ที่อยู่ใน lateral และ forth ventricle เข้าไปอยู่ในโพรงสมอง (ventricle) หลังจากนั้นจะไหลออกสู่ subarachnoid space ทาง foramen of Magendie และ foramen of Luschka อาบไปทั้งสมองและไขสันหลัง และถูกดูดซึมกลับ dural sinus ทาง arachnoid granulation จาก dura sinus จะถูกส่งไปยัง internal jugular vein ต่อไป

น้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง ประกอบด้วยสารอาหารพวก โปรตีน น้ำตาล และเกลือแร่ น้ำมีหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือนของสมองและไขสันหลัง นำอาหารไปเลี้ยงสมองและไขสันหลัง แล้วนำของเสียเข้าสู่ระบบหมุนเวียนของหลอดเลือดดำทางอะแรชนอยด์ วิลไล (arachnoid villi) ต่อไป เพื่อรักษาความดันในสมองให้คงที่




รูปที่ 13-18 แสดงการไหลเวียนของน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง

**1.9 การเสื่อมสลาย และการงอกใหม่ของเซลล์ประสาท**

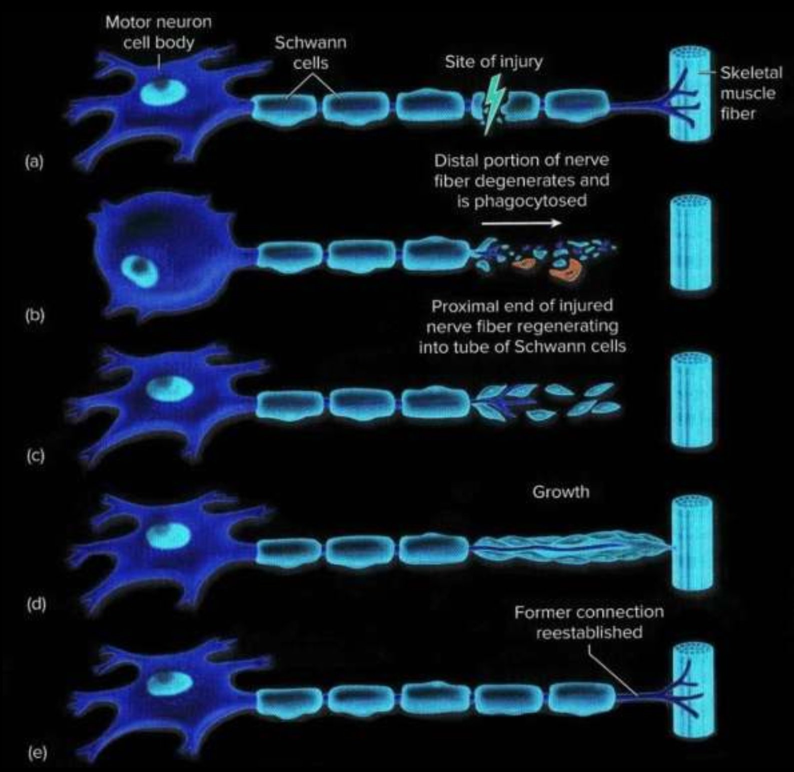
เมื่อ axon ของเซลล์ประสาทถูกตัดขาด ส่วนที่ถูกตัดขาดจากตัวเซลล์ประสาทจะเริ่มมีการเสื่อมสลาย (degenration) ซึ่งจะเกิดภายใน 12 ชม. ต่อมาจะแตกเป็นท่อนๆ และสลายไป การสลายแบบนี้เรียกว่า **anterograde degeneration** ถ้าเป็น myelinated axon พบว่าส่วนของ myelin จะหายไป ถ้าเซลล์ที่สร้าง myelin ยังคงอยู่ ก็สามารถสร้าง myelin สำหรับ process ที่เจริญขึ้นมาใหม่ได้

นอกจากจะมีการเสื่อมสลายที่ส่วนปลายแล้ว พบว่าตัวเซลล์ประสาทก็มีการเสื่อมสลายเช่นเดียวกัน เรียกว่า **retrograde degeneration** พบว่าตัวเซลล์ประสาทจะบวม นิวเคลียสถูกดันไปด้านข้าง ส่วนของ nissl body จะหายไป ซึ่งจะทำให้เซลล์ตาย ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า **chromatolysis** เซลล์ประสาทเมื่อตายแล้ว จะไม่มีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมา

สำหรับประสาทส่วนปลาย พบว่าส่วนต้นๆ ของบริเวณที่ถูกตัดจะเกิดการเสื่อมสลาย อย่างน้อยก็ถึง node ที่ใกล้ที่สุด แล้วจะเริ่มมีการงอกใหม่ออกไปยังบริเวณใกล้เคียง อัตราการงอกใหม่ประมาณ 1-2 มม.ต่อวัน ยกเว้นใน

กรณีถูกทำลายจนหมด โอกาสที่จะเจริญคืนสู่สภาพเดิมจะน้อยมาก การงอกไปไม่ถึงบริเวณที่เคยไปเลี้ยง หรืออาจงอกออกมาเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า neuroma

กระบวนการ regeneration จะไม่เกิดในประสาทส่วนกลาง เนื่องจากมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วของ neuroglia cells จึงทำให้เกิดการสกัดกั้นการงอกของ axon




รูปที่ 13-19 แสดงการเสื่อมสลายของเซลล์ประสาท

************************************

## ตอนที่ 2
## ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System หรือ CNS)

ระบบประสาทส่วนกลางประกอบด้วย สมอง (Brain) และไขสันหลัง (Spinal cord) หน้าที่หลักของระบบประสาทส่วนกลาง ได้แก่ การผสมผสานสัญญาณต่างๆ ที่เข้าและออกจากระบบประสาท รวมทั้งการทำหน้าที่เกี่ยวกับความนึกคิด การเรียนรู้ และสติปัญญา

### 2.1 สมอง (Brain)

สมองประกอบด้วยเซลล์ประสาทจำนวนล้านล้านเซลล์ บรรจุอยู่ในโพรงกะโหลกศีรษะ (cranial cavity) เพื่อป้องกันสมองไม่ให้ได้รับการกระทบกระเทือน มีการเจริญตั้งแต่เป็นตัวอ่อนในครรภ์มารดาและเจริญอย่างรวดเร็วในอายุระหว่าง 1-9 ปี เจริญเต็มที่อายุ 18-20 ปี มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 1,300 กรัม สมองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ



รูปที่ 13-20 แสดงสมองและไขสันหลังที่เลาะออกมา

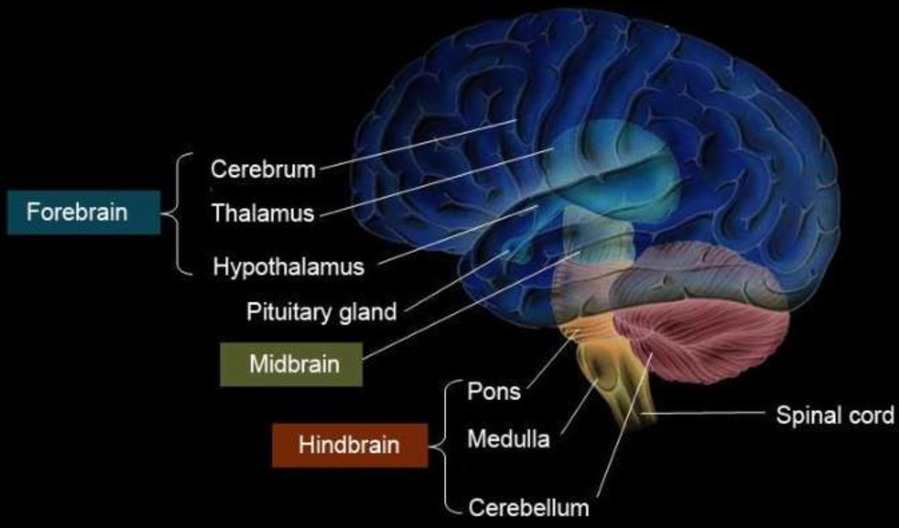
**2.1.1 สมองส่วนหน้า (Prosencephalon หรือ forebrain)** ประกอบด้วย
- => Cerebrum (Cerebral hemisphere) กับ Basal ganglia
- => Thalamus

**2.1.2 สมองส่วนกลาง (Mesencephalon หรือ midbrain)** ประกอบด้วย
- => รอยนูน 4 ก้อน (corpora quadrigemina)
- => Cerebral peduncle

**2.1.3 สมองส่วนหลัง (Rhombencephalon หรือ hindbrain)** ประกอบด้วย
- => Pons, Cerebellum
- => Medulla oblongata

สมองแต่ละส่วนจะมีองค์ประกอบย่อยๆ และมีหน้าที่จำเพาะ แต่ในการทำงานของสมองจะทำงานร่วมกัน มีการติดต่อซึ่งกันและกันด้วยสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ซึ่งอาจจะเป็นการกระตุ้นหรือยับยั้งการ

ทำงานก็ได้ เมื่อสมองส่วนใดส่วนหนึ่งเสียหายไป สมองส่วนอื่นๆ ก็จะพยายามเข้ามาทำหน้าที่แทน ถ้าทำได้ก็ไม่เกิดอาการผิดปกติ แต่ถ้าไม่สามารถทดแทนได้ก็จะเกิดอาการผิดปกติต่างๆ

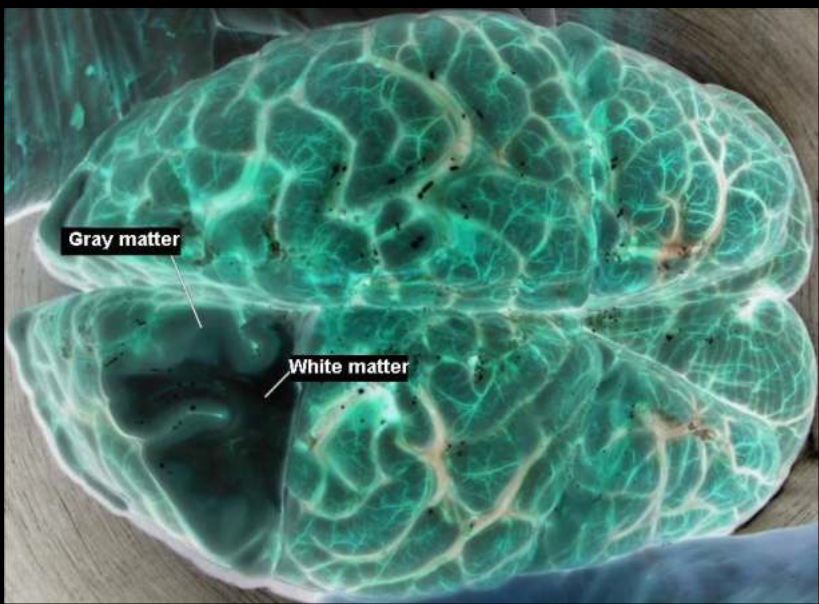



รูปที่ 13-21 แสดงสมองส่วนหน้า (forebrain) สมองส่วนกลาง (midbrain) และสมองส่วนหลัง (hindbrain)

## สมองส่วนหน้า

### Cerebral hemisphere (Cerebrum) หรือ สมองใหญ่

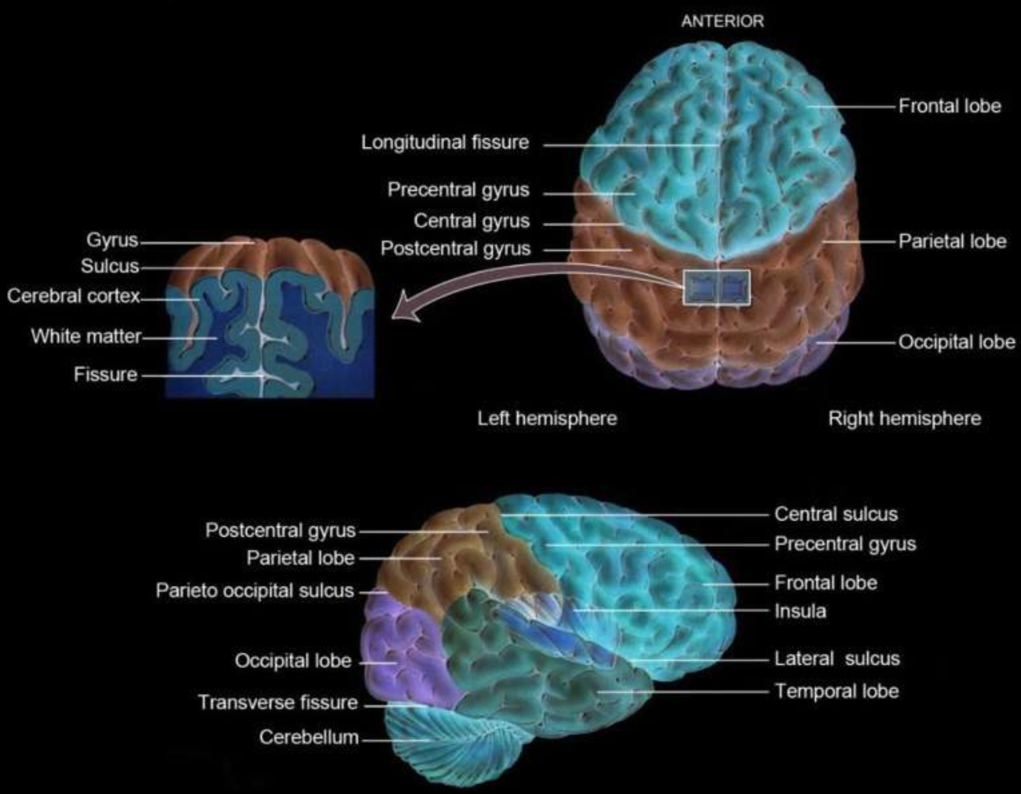
Cerebrum มี 2 ข้าง ได้แก่ ข้างขวา (right cerebral hemisphere) และข้างซ้าย (left cerebral hemisphere) ทั้ง 2 ข้าง มาเชื่อมกันตรงกลางด้วย corpus callosum ส่วนเปลือกนอก เรียกว่า **cerebral cortex** มีลักษณะเป็นลอนๆ ส่วนนูนเรียกว่า **gyrus** และมีร่องเรียกว่า **sulcus** ถ้าเป็นร่องลึกเรียกว่า **fissure** ส่วนเปลือกสมองนี้เป็นที่อยู่ของเซลล์ประสาท เนื้อข้างในจะเป็น **white mater** ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยประสาท (nerve fiber)




รูปที่ 13-22 แสดง White matter และ Gray matter ของสมอง

**สมองแต่ละข้าง** จะแบ่งเป็นกลีบๆ (lobe) โดยร่องลึก เป็น 5 กลีบ ได้แก่

**1. Frontal lobe** อยู่ทางด้านหน้าสุดของสมองติดกับกระดูกหน้าผาก แยกจาก parietal lobe ด้วยร่องชื่อ central sulcus และแยกจาก temporal lobe ด้วยร่องชื่อ lateral sulcus (lateral sylvian fissure, lateral fissure) ด้านหน้าต่อ central sulcus จะมีลอนชื่อว่า precentral gyrus เป็นสมองที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหวของร่างกายซีกตรงข้าม บริเวณนี้มีอีกชื่อว่า **motor area** บริเวณด้านล่างของ frontal lobe จะมีบริเวณที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการพูด เรียกว่า **Broca's area หรือ motor speech area** นอกจากนี้ทางด้านหน้าของกลีบหน้ายังทำหน้าที่เกี่ยวกับความนึกคิดและอารมณ์ต่างๆ



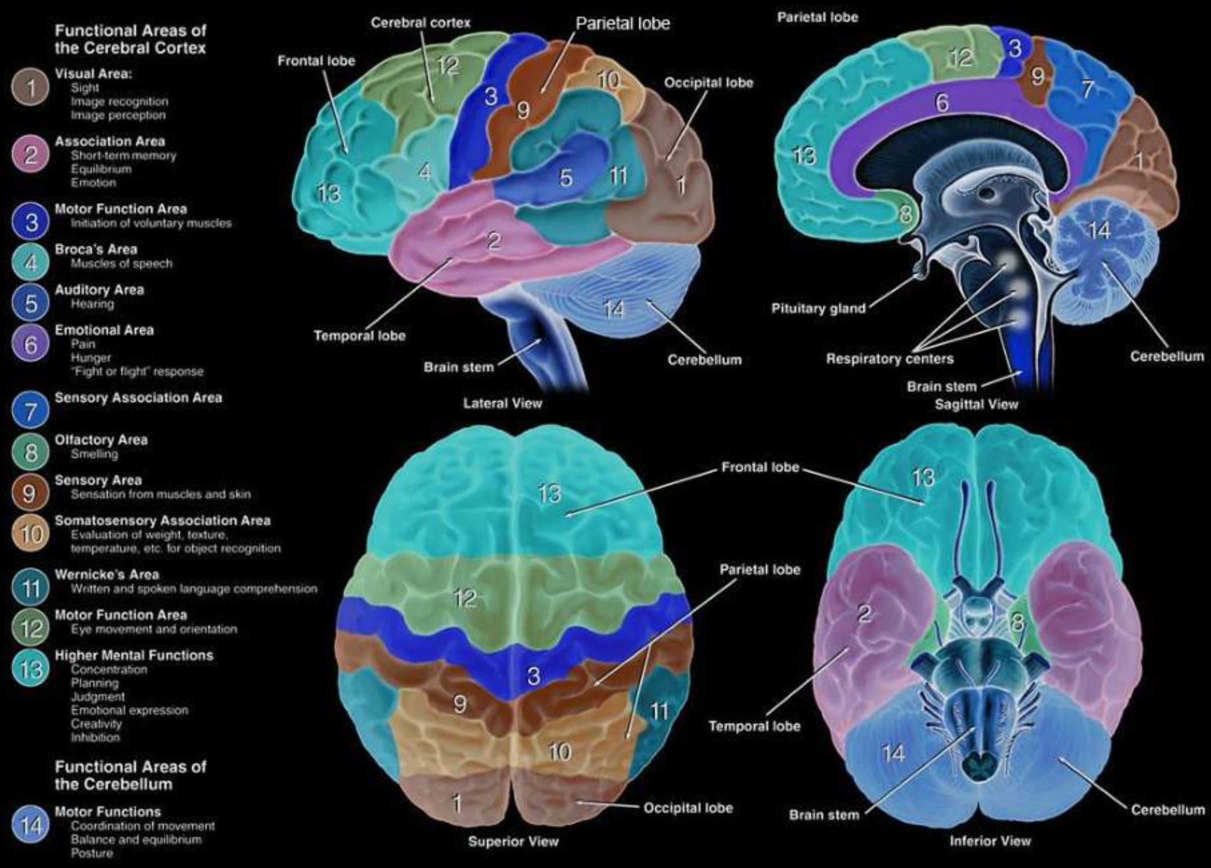

รูปที่ 13-23 แสดงลักษณะสมองเป็นลอนนูน (gyrus) ร่อง (sulcus) ร่องลึก (fissure)

**2. Parietal lobe** อยู่ถัดจาก Frontal lobe มาทางด้านหลัง แยกออกจากกันด้วยร่องสมองที่เรียกว่า central fissure เป็นบริเวณที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับความรู้สึกของร่างกาย เช่น ความเจ็บปวด การสัมผัสความร้อน-เย็น เป็นต้น โดยสมองแต่ละซีกจะรับความรู้สึกจากร่างกายด้านตรงข้าม

**3. Occipital lobe** เป็นกลีบหลังสุด เป็นส่วนหลังสุดของสมอง ทำหน้าที่รับภาพ และแปลความหมายของภาพต่าง ๆ ที่มองเห็น เรียกบริเวณนี้ว่า visual cortex

**4. Temporal lobe** ได้แก่ บริเวณด้านข้างของสมองอยู่ต่ำกว่าร่องสมองขนาดใหญ่ที่เรียกว่า lateral fissure ทำหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับการรับเสียง และแปลความหมาย ส่วนล่างสุดของกลีบสมองนี้ จะม้วนตัวเข้าไปในช่องว่างของสมอง ส่วนที่ม้วนเข้าไป เรียกว่า hippocampus ทำหน้าที่เกี่ยวกับความจำ ด้านหน้าของ hippocampus จะมีกลุ่มเซลล์ประสาทมีชื่อว่า amygdaloid nucleus ทำหน้าที่รับกลิ่น และ อารมณ์

**5. Insular lobe** เป็นกลีบที่ซ่อนอยู่ด้านใน ถูกบังด้วยบางส่วนของ frontal และ parietal lobe กลีบสมองส่วนนี้ เชื่อว่าทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับรู้ความรู้สึกจากอวัยวะภายใน

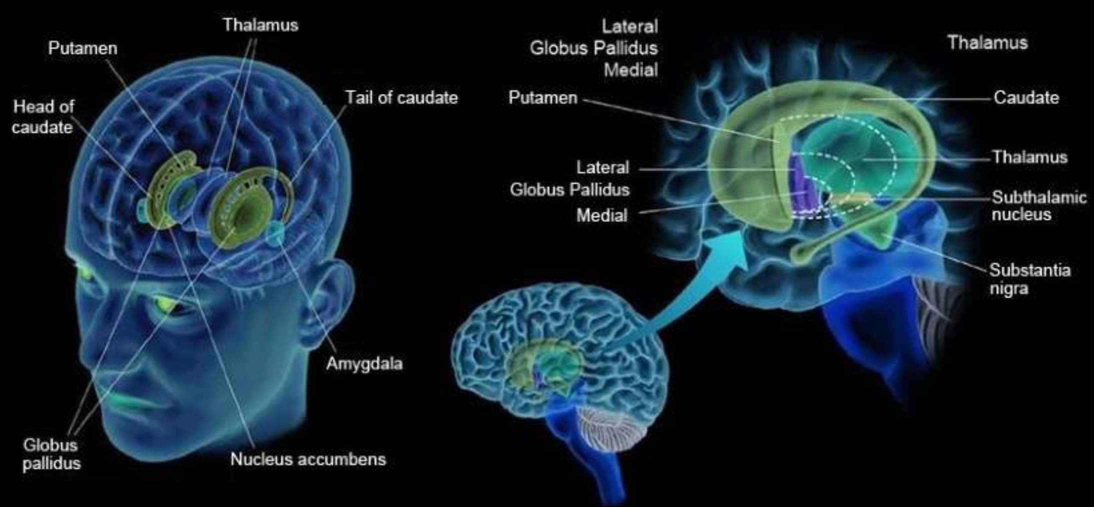



รูปที่ 13-24 แสดงหน้าที่ต่างๆ ของ Cerebrum

## BASAL GANGLIA

เป็นกลุ่มของเซลล์ประสาทที่อยู่ในส่วน white mater ของ cerebral hemisphere ทำหน้าที่ควบคุมและปรับแต่งการเคลื่อนไหว ประกอบด้วย

**1. Caudate nucleus** ลักษณะคล้ายลูกน้ำ มีส่วนหัวที่มีขนาดใหญ่ ส่วนหางเรียว ทำหน้าที่ประสานการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ




รูปที่ 13-25 แสดงกายวิภาคของ Basal ganglia

**2. Lenticular nucleus** รูปร่างคล้ายเลนส์ สมองส่วนนี้ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ประสาท 2 กลุ่ม คือ globus pallidus และ putamen ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อให้มีจังหวะที่ดี ไม่แข็งเกร็ง โดยการทำงานร่วมกับ caudate nucleus และ motor area ของ cerebral cortex

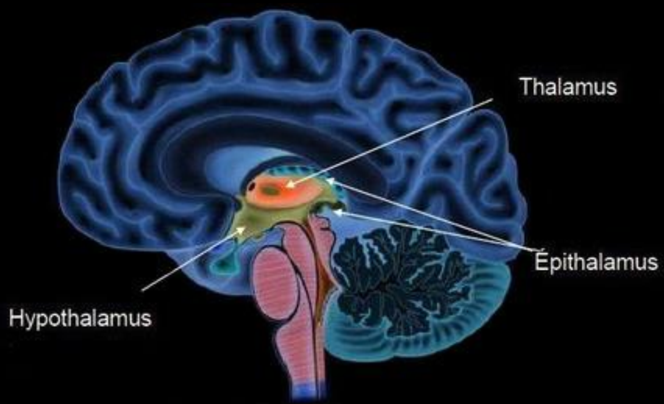
## THALAMUS

สมองส่วนนี้มีลักษณะเป็นก้อน แบ่งออกเป็น

**1. Epithalamus** อยู่ค่อนไปทางข้างหลังของ thalamus เป็นที่ตั้งของต่อมไร้ท่อ pineal gland

**2. Dorsal thalamus** เป็นบริเวณที่เส้นใยประสาทรับความรู้สึกจากไขสันหลัง จากตา และหู จะส่งผ่านมายังสมองส่วนนี้ และส่งต่อไปยังสมองบริเวณต่างๆ ต่อไป

**3. Hypothalamus** อยู่ด้านล่างสุดของ thalamus ทำหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมการสร้างฮอร์โมน ควบคุมการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ รักษาอุณหภูมิกาย ควบคุมการตื่นและการหลับ (sleep-wake cycle) อารมณ์ต่างๆ ส่วนล่างของ hypothalamus จะมีต่อมใต้สมอง ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนหลายชนิด




รูปที่ 13-26 แสดงกายวิภาคของ thalamus

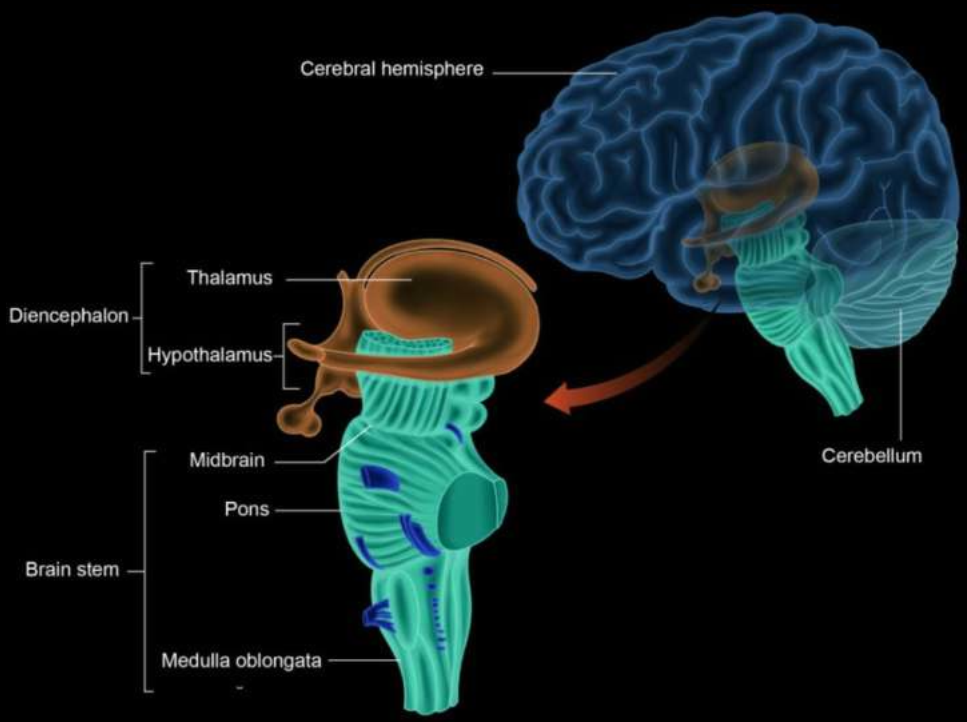
## สมองส่วนกลาง (mid brain)

สมองส่วนกลาง ประกอบด้วย ก้อนนูน 4 ก้อน อยู่ทางด้านหลังมีชื่อว่า Corpora quadrigemina และ 2 ก้อนบน เรียกว่า superior colliculus เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับรีเฟล็กซ์ของการรับภาพ และการเคลื่อนไหวของลูกตา ส่วน 2 ก้อนล่าง เรียกว่า inferior colliculus เป็นบริเวณที่เกี่ยวกับรีเฟล็กซ์ของการรับเสียง

ทางด้านล่าง ของสมองส่วนกลาง จะเป็นแท่ง 2 แท่ง เรียกว่า cerebral peduncle ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยประสาทจากสมองส่วน motor area วิ่งลงมาสู่เซลล์ประสาทในไขสันหลัง เรียกว่า pyramidal tract

ถ้าตัดสมองส่วนกลางในแนวขวาง บริเวณตรงกลางจะพบกลุ่มเซลล์ประสาท ชื่อว่า red nucleus และใต้ต่อ red nucleus จะมีกลุ่มเซลล์ประสาท ชื่อ substantia nigra ในคนสูงอายุ เซลล์ประสาทกลุ่มนี้จะเสื่อมลงเกิดโรคปาร์กินสัน (Parkinsonism) ซึ่งจะแสดงอาการแข็งเกร็งของกล้ามเนื้อ เวลาเดินจะที่อๆ หน้าตาย และที่นิ้วมือจะสั่นคล้ายปั้นลูกกลอนตลอดเวลาถ้าหยุดนิ่ง

สมองส่วนกลางจะมีเซลล์ประสาทต้นกำเนิดของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3 คือ oculomotor nucleus และเซลล์ประสาทต้นกำเนิดของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 4 คือ trochlea nucleus ดังนั้น สมองส่วนกลาง จะให้เส้นประสาทสมอง 2 คู่ คือ คู่ที่ 3 และคู่ที่ 4




รูปที่ 13-27 แสดงกายวิภาคของสมองส่วนกลาง (mid brain)

## สมองส่วนหลัง (hind brain)

**1. Pons** เป็นส่วนที่ต่อจากสมองส่วนกลาง เนื้อของ pons ทางด้านหลัง เรียกว่า tegmentum ถูกคลุมด้วย cerebellum โดยมีช่องว่างที่ 4 ของสมองคั่นอยู่ ภายใน tegmentum จะมีกลุ่มเซลล์ประสาทต้นกำเนิดของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 – 7 และมีวิถีประสาทนำความรู้สึกจากไขสันหลังเพื่อไปสู่สมองส่วน thalamus

**2. Cerebellum** (สมองน้อย) อยู่ทางด้านหลัง คร่อมอยู่บน pons และ ส่วนบนของ medulla สมองส่วนนี้ประกอบด้วย cerebellar hemisphere (ด้านข้าง) และ cerebellar vermis (ตรงกลาง) สมองส่วนนี้ทำหน้าที่ควบคุมการทรงตัวประสานการทำงานของกล้ามเนื้อร่วมกับ motor area ของ cerebral cortex ทำให้มีการทรงตัวดีขึ้น ถ้าสมองส่วนนี้พิการหรือมีโรคจะทำให้เกิดอาการเดินเซ เวียนศีรษะ และมีอาการสั่นเวลาให้หยิบสิ่งของ แต่ถ้าอยู่นิ่ง ๆ จะไม่สั่น เรียกว่า action tremor

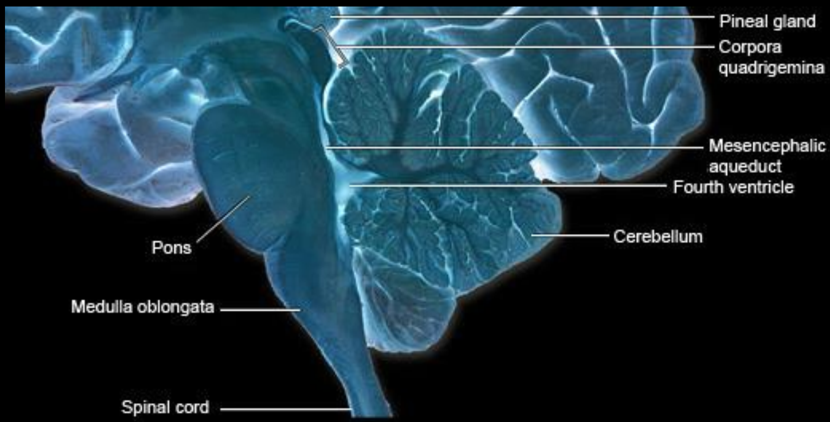
**3. Medulla oblongata** เป็นสมองที่อยู่ต่อจาก pons ภายในเนื้อของ medulla จะมีกลุ่มของเซลล์ประสาทต้นกำเนิดของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8–12 มีหน้าที่สำคัญ คือ

=> มีศูนย์ควบคุมเกี่ยวกับการทำงานด้านต่างๆ ได้แก่ ควบคุมเกี่ยวกับการหายใจ (respiratory center) ควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจ (cardiac center) ควบคุมความดันเลือด (vasomotor center)

=> ควบคุมรีเฟล็กซ์ เช่น ควบคุมการหลั่งน้ำลายจาก parotid gland ควบคุมการกลืน (swallowing center) การเคี้ยว (masticating reflex) การอาเจียน (vomiting reflex) การไอ (coughing) และ การจาม (Sneezing) การกระพริบตา (Blink reflex)

=> เป็นทางผ่านขึ้นลงของเส้นใยประสาท

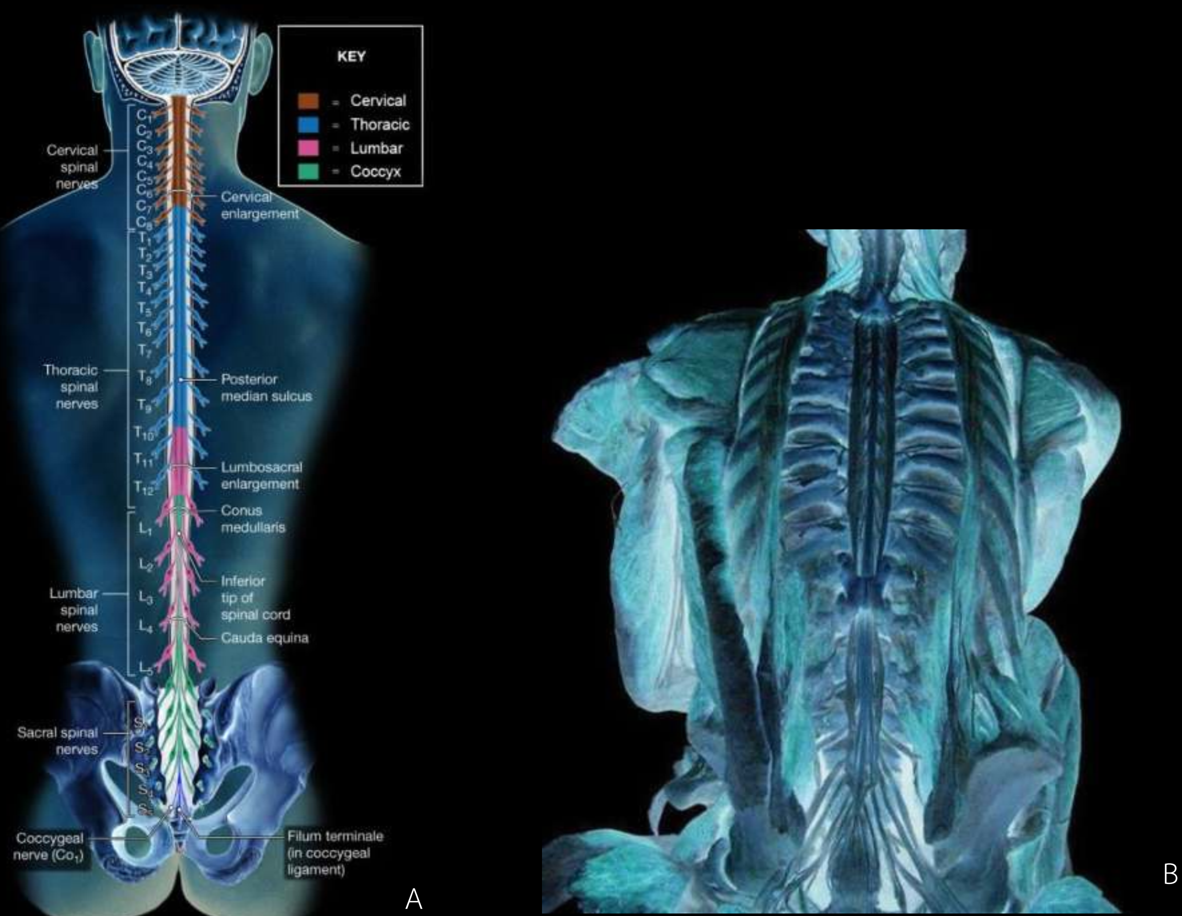
เมื่อรวมสมองส่วน medulla ของ midbrain, pond และ oblongata เข้าด้วยกัน เรียกว่า **brain stem** หรือ ก้านสมอง




รูปที่ 13-28 แสดงสมองส่วนหลัง (hind brain)

## 2.2 ไขสันหลัง (Spinal cord)

ไขสันหลังเป็นส่วนที่อยู่ต่อจาก medulla oblongata อยู่ภายในช่องของกระดูกสันหลัง ไขสันหลังเริ่มจากส่วนรูที่กระดูกศีรษะส่วนท้ายทอยที่เรียกว่า foramen magnum ไปสิ้นสุดที่กระดูกสันหลังระดับเอวอันที่ 1 ต่อกับ 2




รูปที่ 13-29 แสดงลักษณะภายนอกของไขสันหลัง (A) ไขสันหลังที่วางตัวอยู่ในช่อง spinal canal และลักษณะ conus medullaris และ cauda aquina (B)

**ลักษณะภายนอกของไขสันหลัง**

ไขสันหลังเป็นรูปทรงกระบอก มีส่วนที่พองออก 2 ตำแหน่ง คือ ส่วนคอ เรียกว่า cervical enlargement และส่วนเอว เรียกว่า lumbar enlargement ส่วนปลายจะเรียวแหลม เรียกว่า conus medullaris และมีกลุ่มเส้นประสาทเป็นพวงที่บริเวณหาง เรียกว่า cauda aquina

ด้านหลังหลังของไขสันหลังจะมีร่องตรงกลาง เรียกว่า dorsal median sulcus และร่องทางด้านข้าง เรียกว่า dorsal lateral sulcus ซึ่งร่องนี้จะมีเส้นใยประสาทชื่อ dorsal nerve root เป็นทางนำเข้าของเส้นประสาทรับความรู้สึกต่างๆ

ที่ dorsal nerve root จะมีปมประสาท เรียกว่า dorsal root ganglion จะมารวมกันเป็นเส้นประสาทไขสันหลัง (spinal nerve)

**ลักษณะภายในของไขสันหลัง**

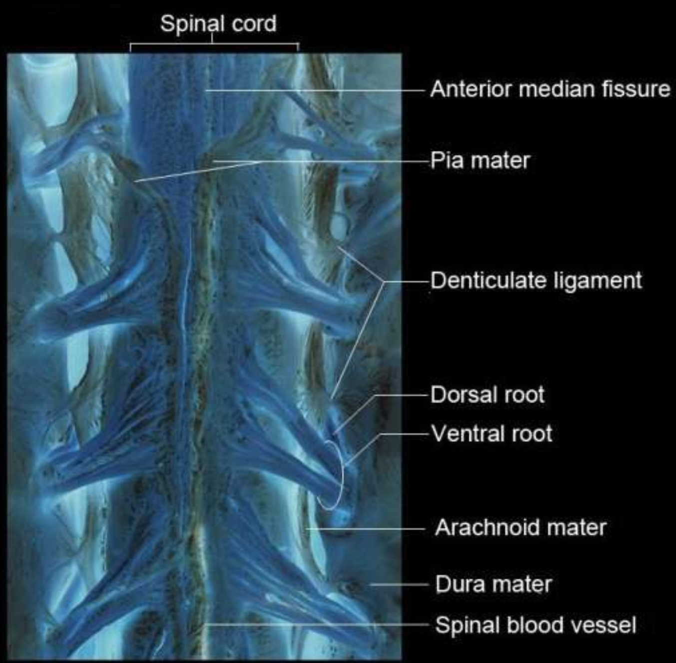
เมื่อตัดไขสันหลังตามขวาง จะพบว่าเนื้อไขสันหลังมี 2 ส่วน ส่วนนอก เรียกว่า **White matter** ส่วนในลักษณะรูปตัว H เรียกว่า **Grey matter**

**1. White mater ของไขสันหลัง** เป็นส่วนที่มีสีขาวรอบนอก ไม่มีเซลล์ประสาท จะมีเฉพาะใยประสาทที่มีเยื่อไมอิลินหุ้ม แบ่งเป็นบริเวณๆ เรียกว่า funiculus หรือ column ดังนี้

=> **Dorsal column** เป็นที่อยู่ของวิถีประสาทรับความรู้สึกเกี่ยวกับตำแหน่งของข้อและร่างกาย (proprioception) ความรู้สึกสัมผัสละเอียดอ่อน (fine touch) และความรู้สึกแยกจุด 2 จุด ออกจากกัน (two point discrimination)

=> **Lateral column** เป็นที่อยู่ของวิถีประสาทรับความรู้สึกเจ็บปวด และวิถีประสาทสั่งการจากสมองที่มาควบคุมการเคลื่อนไหว

=> **Ventral column** เป็นที่อยู่ของวิถีประสาทรับความรู้สึกชนิดหยาบ



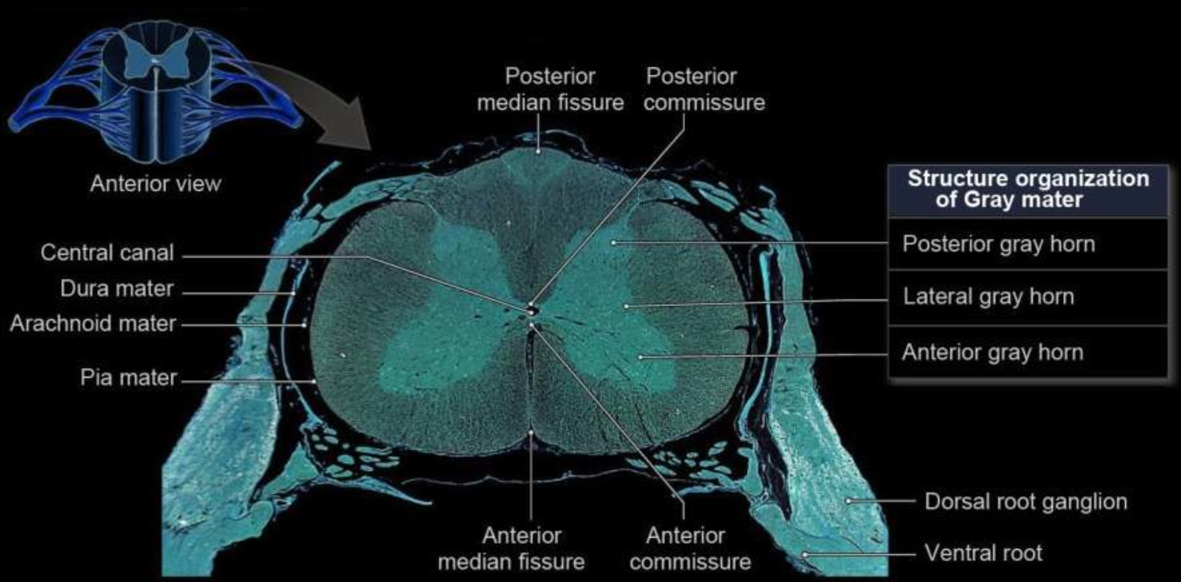

รูปที่ 13-30 แสดงกายวิภาคของไขสันหลัง

**2. Grey mater ของไขสันหลัง**

**=> Dorsal horn (Posterior horn)** เป็นบริเวณที่มีเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neuron) อยู่เป็นจำนวนมาก เรียงตัวเป็นชั้นๆ เรียกว่า lamina เซลล์ประสาทเหล่านี้ส่วนใหญ่รับสัญญาณประสาทจากเซลล์ประสาทในปมประสาทไขสันหลัง

**=> Ventral horn (Anterior horn)** เป็นบริเวณที่มีเซลล์ประสาทสั่งการ (motor neuron) ซึ่งจะให้ axon ออกมาใน ventral nerve root

**=> Lateral horn (Intermediate horn)** เป็นบริเวณที่มีเซลล์ประสาทอัตโนมัติซิมพาเธติก พบเฉพาะในไขสันหลังระดับ thoracic ที่ 1 ถึง lumbar ที่ 3 ให้แอกซอนออกมาผ่าน ventral verve root เข้าสู่ white rami communicans ไปสิ้นสุดที่ sympathetic ganglion cells ในปมประสาทซิมพาเธติก จากเซลล์นี้จะให้แอกซอนออกมาทาง grey rami communicans แล้ววกเข้าสู่ spinal nerve กระจายไปตาม spinal nerve ไปสู่หลอดเลือดของผิวหนังและกล้ามเนื้อเรียบของผิวหนังต่อไป




รูปที่ 13-31 แสดงส่วนต่างๆ ของ Gray mater และ white mater

************************************

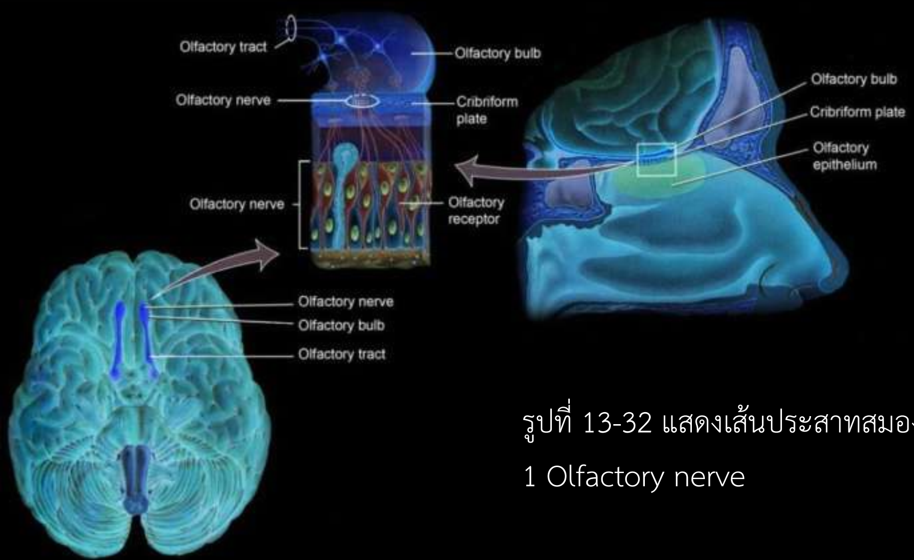
## ตอนที่ 3

## ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral nervous system, PNS)

ระบบประสาทส่วนปลาย ประกอบด้วย เส้นประสาทสมอง (Cranial nerve) และเส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerve) ดังนี้

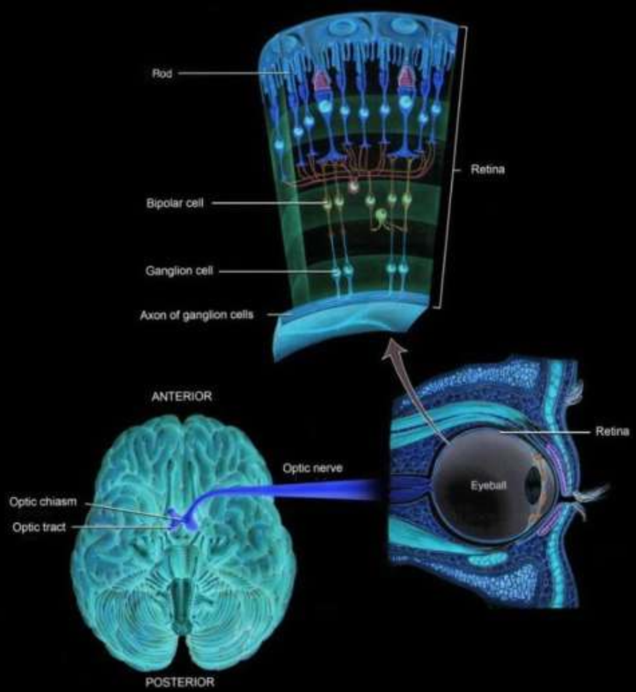
**3.1 เส้นประสาทสมอง (Cranial nerve)** สมองทุกส่วนจะมีเส้นประสาทสมองแยกออกมาเป็นคู่ๆ เพื่อรับสัญญาณความรู้สึก และออกคำสั่งควบคุมหน่วยปฏิบัติงานให้ตอบสนองต่อสิ่งเร้า มี 12 คู่ ได้แก่

**1) Olfactory nerve (CN I)** ทำหน้าที่รับกลิ่นเข้าไปสู่สมอง ปลายประสาทอยู่ที่หลังคาของโพรงจมูก




รูปที่ 13-32 แสดงเส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 Olfactory nerve

**2) Optic nerve (CN II)** เป็นเส้นประสาทที่ทำหน้าที่รับภาพ ปลายประสาทรับภาพอยู่ที่จอตา แล้วรวมกันเป็น optic nerve อยู่ทางหลังลูกตา เข้าสู่สมองส่วนทาลามัส




รูปที่ 13-33 แสดงเส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 Optic nerve

**3) Oculomotor nerve (CN III)** เป็นเส้นประสาทสมองที่ไปควบคุมกล้ามเนื้อลูกตา ได้แก่

=> Levator palpebrae superioris ทำหน้าที่ยกเปลือกตาขึ้น

=> Medial rectus ทำหน้าที่กลอกลูกตาเข้าใน

=> Inferior rectus ทำหน้าที่กรอกลูกตาลงล่าง

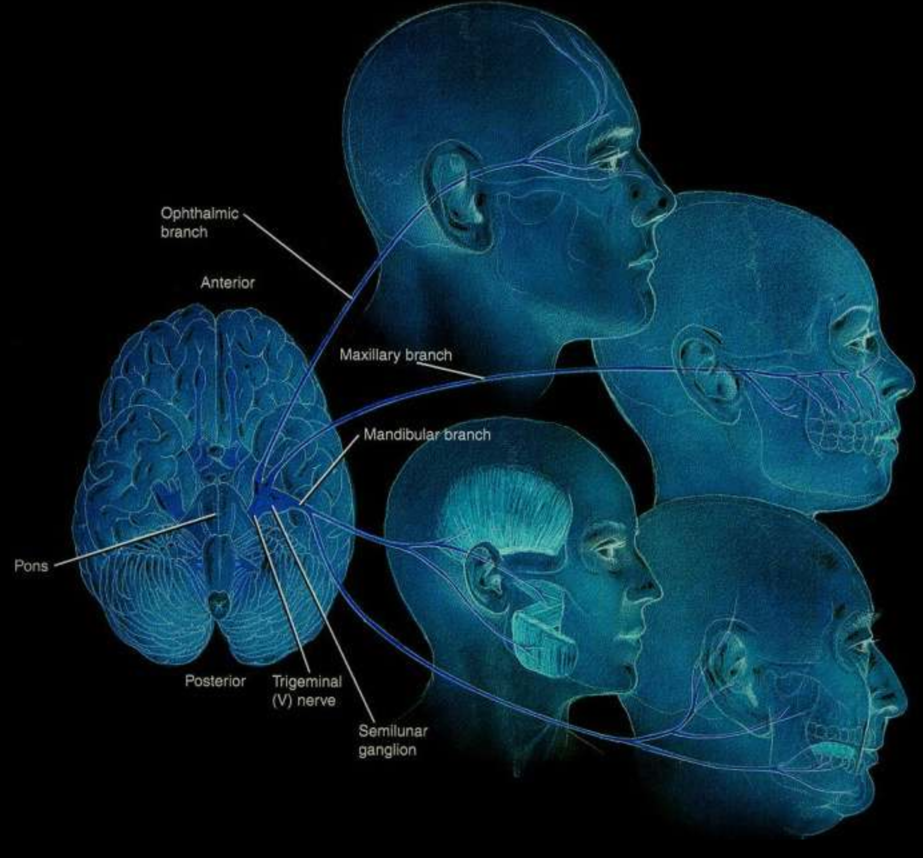
=> Superior rectus ทำหน้าที่กลอกลูกตาขึ้นบน

=> Inferior rectus ทำหน้าที่กลอกลูกตาขึ้นบน

นอกจากนี้เส้นประสาทยังไปควบคุมกล้ามเนื้อม่านตา ทำให้กล้ามเนื้อม่านตาหดตัวเล็กลง เวลาถูกแสงสว่างมาก ๆ การสูญเสียความสามารถของเส้นประสาททำให้มีอาการหนังตาตก ตาเหล่ไปข้างนอก ม่านตาโตและไม่มีปฏิกิริยาต่อแสง

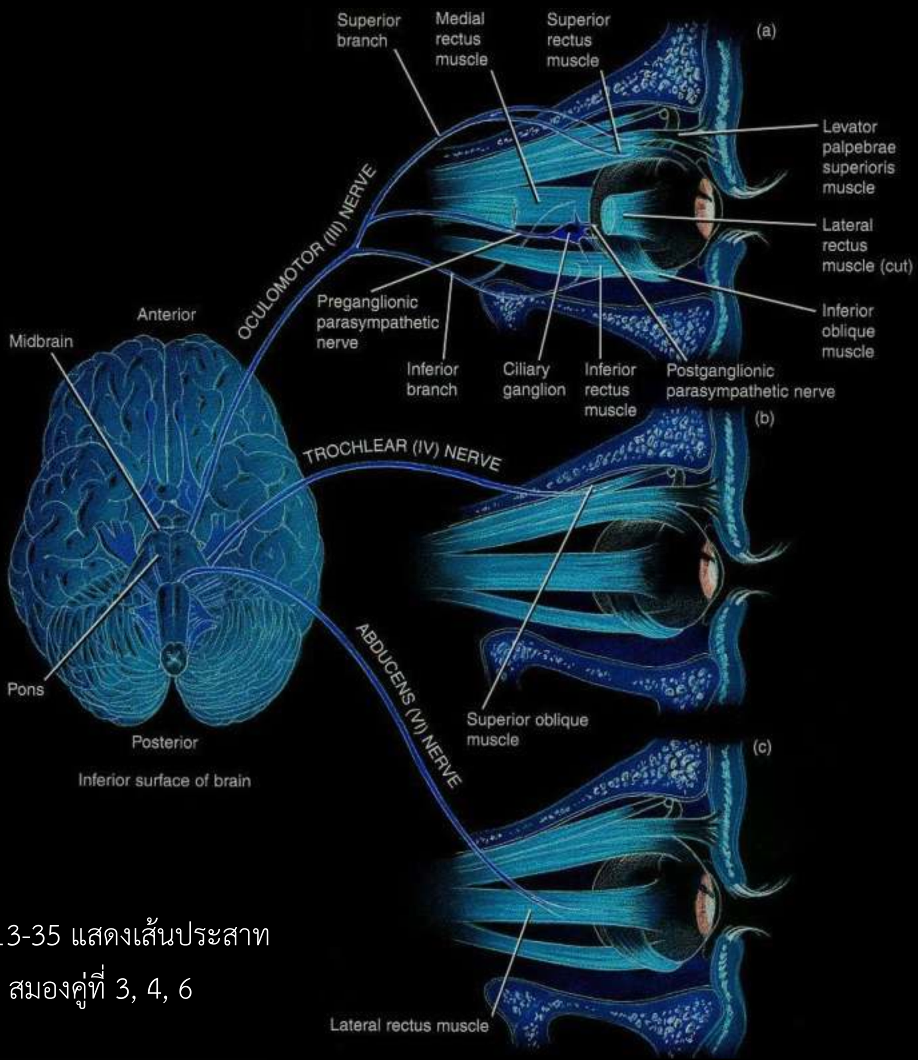
**4) Trochea nerve (CN IV)** เป็นเส้นประสาทสมองที่ไปควบคุมกล้ามเนื้อตา 1 มัด คือ superior obligue ทำหน้าที่กลอกลูกตาลงข้างล่าง

**5) Trigeminal nerve (CN V)** เป็นเส้นประสาทสมองที่ออกมาจากบริเวณ pons แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ Ophthalmic division รับความรู้สึกจากใบหน้า บริเวณหน้าผากและกระจกตา, Maxillary devision รับความรู้สึกจากใบหน้าบริเวณแก้ม และ Mandibular devision รับความรู้สึกจากขากรรไกร และไปเลี้ยงกล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการเคี้ยว



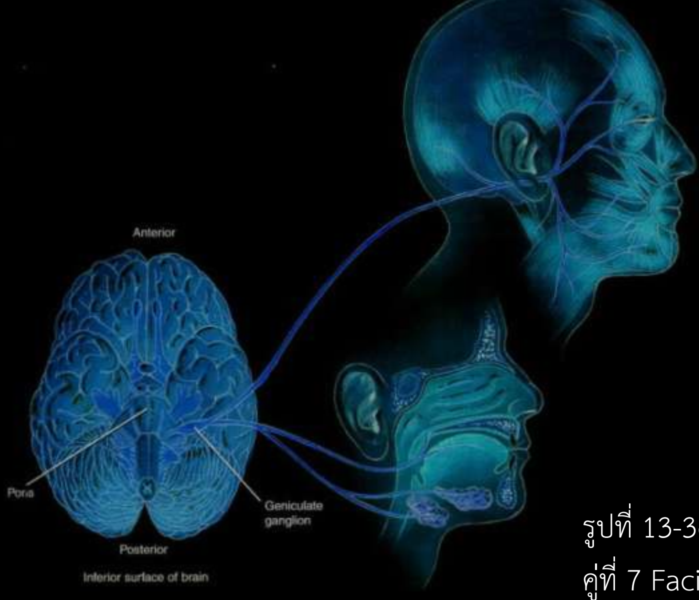

รูปที่13-34 แสดงเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 Trigeminal nerve

**6) Abducens nerve (CN VI)** เป็นเส้นประสาทสมองที่ไปเลี้ยงลูกตา 1 มัด คือ lateral rectus ทำหน้าที่กลอกลูกตาไปทางด้านข้าง ถ้าเส้นประสาทนี้เสียจะทำให้ตาเหล่เข้าข้างใน




รูปที่ 13-35 แสดงเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3, 4, 6

**7) Facial nerve (CN VII)** เส้นประสาททำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อใบหน้า การแสดงสีหน้า ถ้าเส้นประสาทเสียจะทำให้การทำงานของใบหน้าไม่สมดุลกัน เกิดการเบี้ยวขึ้น มุมปากของด้านที่เส้น ประสาทเสียจะตก ตาหลับไม่สนิท ทำหน้าผากย่นไม่ได้

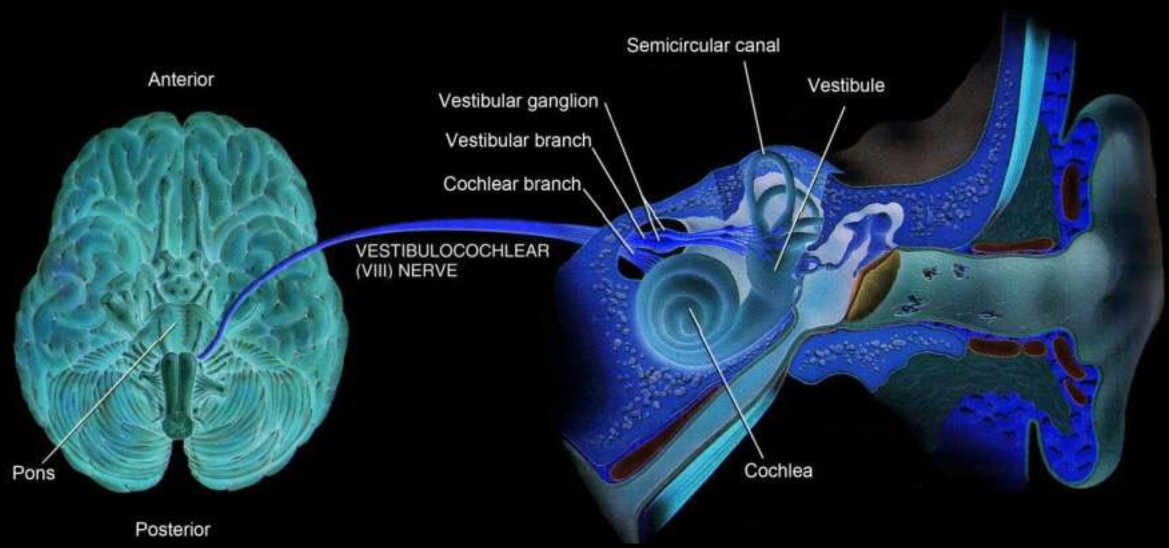



รูปที่ 13-36 เส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 Facial nerve

**8) Vestibulo-cochlea nerve (CN VIII)** เส้นประสาทนี้ ประกอบด้วยเส้นประสาท 2 เส้น คือ

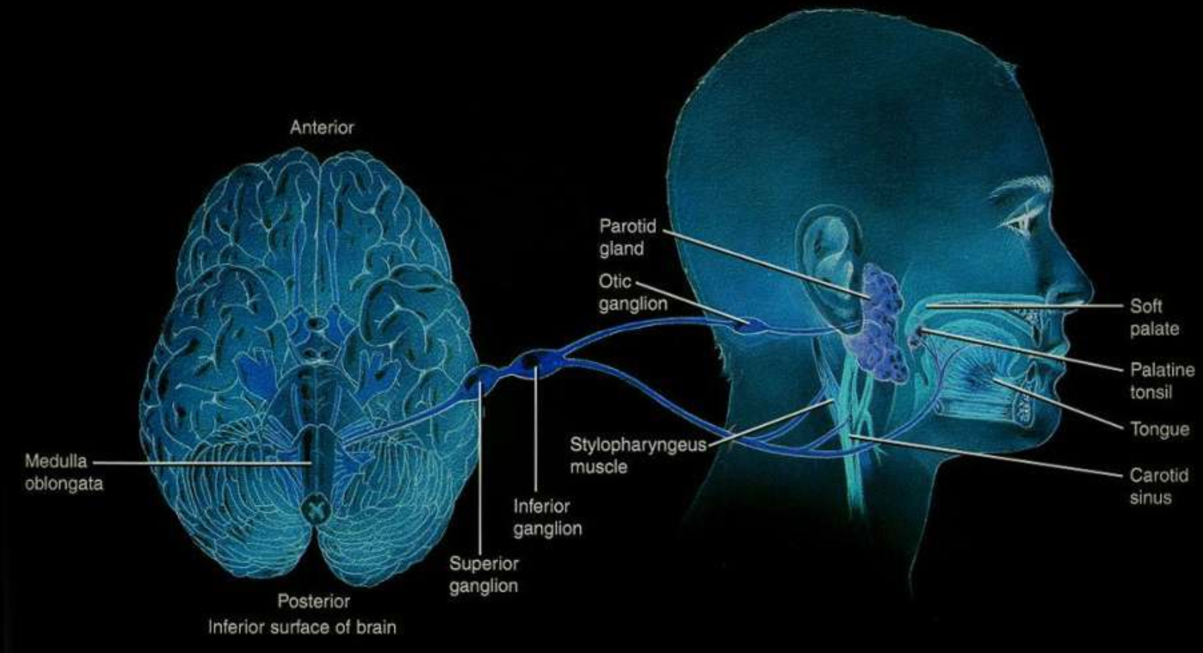
**=> Vestibular nerve** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการทรงตัว

**=> Cochlea nerve (auditory nerve)** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการได้ยินเสียง



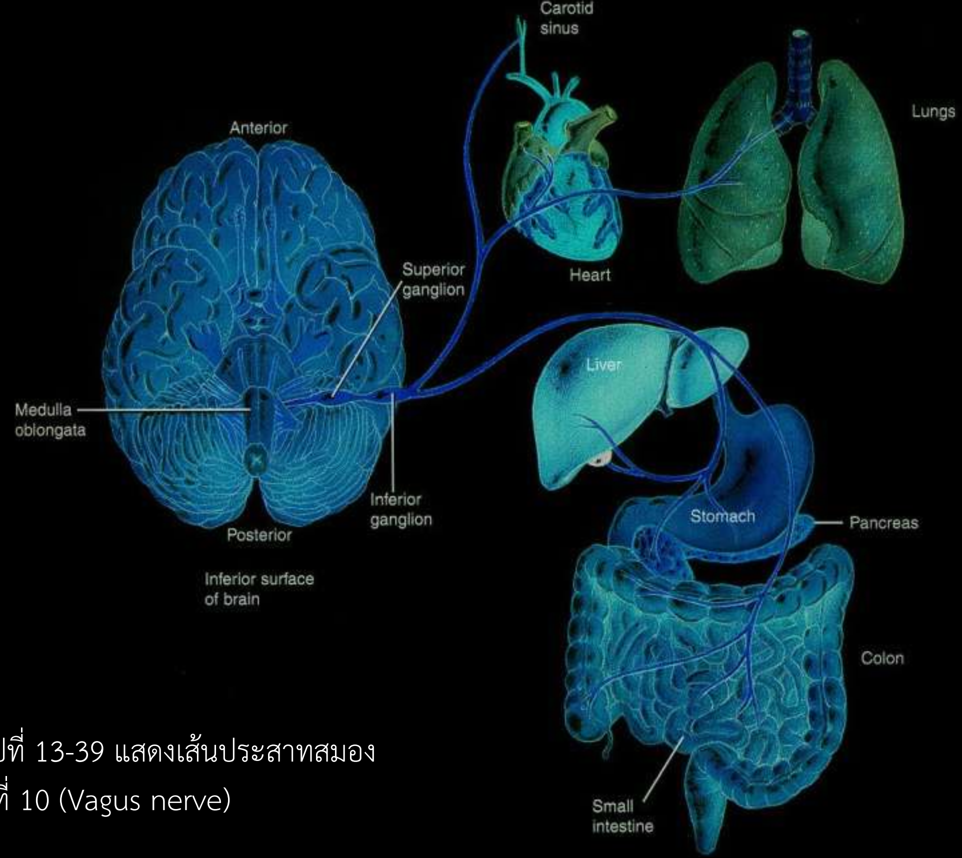

รูปที่ 13-37 เส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 Vestibulo-cochlea nerve

**9) Glossopharyngeal nerve (CN IX)** ทำหน้าที่รับความรู้สึกส่วนหลังของลิ้นและคอหอย ควบคุมการทำงานของของกล้ามเนื้อคอหอย



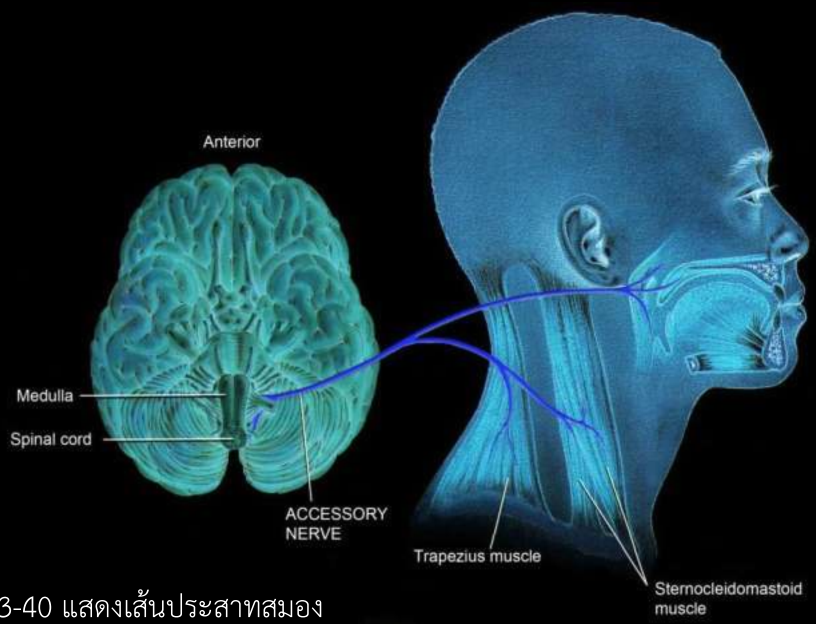

รูปที่ 13-38 เส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 Glossopharyngeal nerve

**10) Vagus nerve (CN X)** ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อระบบทางเดินหายใจ ระบบหายใจ กล้ามเนื้อหัวใจ ร่วมกับระบบประสาทซิมพาเธติก



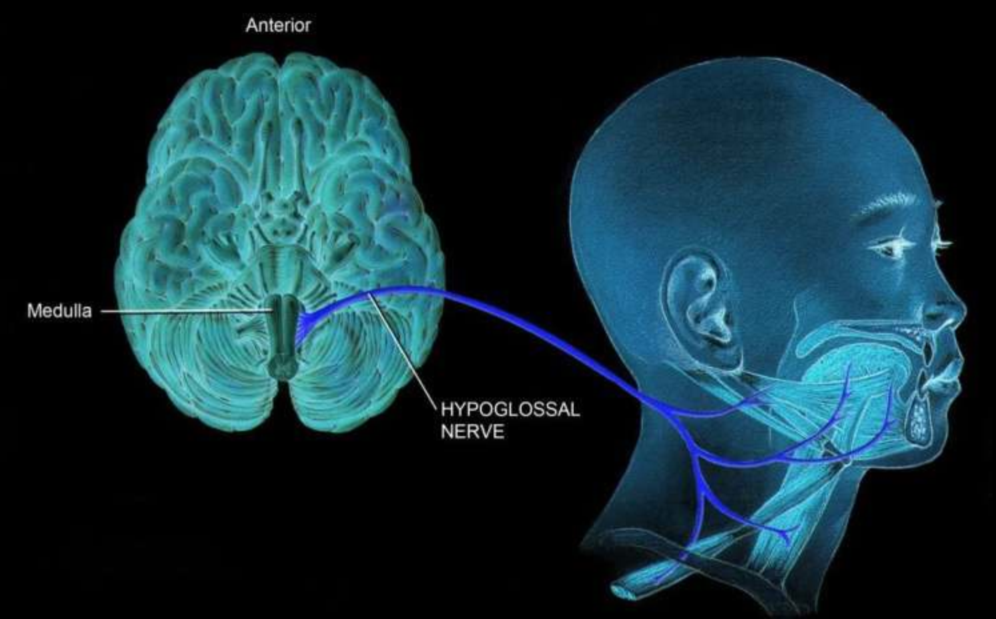

รูปที่ 13-39 แสดงเส้นประสาทสมอง
คู่ที่ 10 (Vagus nerve)

**11) Accessory nerve (CN XI)** ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ sternocleidomastoid ที่เกี่ยวกับการหันหน้าไปซ้าย ขวา และกล้ามเนื้อ Trapezius ที่ช่วยในการยกไหล่




รูปที่ 13-40 แสดงเส้นประสาทสมอง
คู่ที่ 11 Accessory nerve

**12) Hypoglossal nerve (CN XII)** เส้นประสาทสมองคู่นี้ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อลิ้น




รูปที่ 13-41 แสดงเส้นประสาทสมองคู่ที่ 12 Hypoglossal nerve

## 3.2 เส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerve)

เส้นประสาทไขสันหลังเกิดจากการรวมตัวของ dorsal และ ventral nerve root เป็นเส้นประสาทที่แยกออกจากไขสันหลัง 31 คู่ เพื่อทำหน้าที่รับความรู้สึกและสั่งการไปยังหน่วยปฏิบัติงาน (effectors) เช่น กล้ามเนื้อหรือต่อมต่างๆ เส้นประสาทไขสันหลังแต่ละเส้นจะมีบริเวณของผิวหนังที่เส้นประสาทนี้เลี้ยงโดยเฉพาะ เรียกบริเวณของผิวหนังที่เลี้ยงโดยเส้นประสาทไขสันหลัง 1 เส้น ว่า **Dermatome**

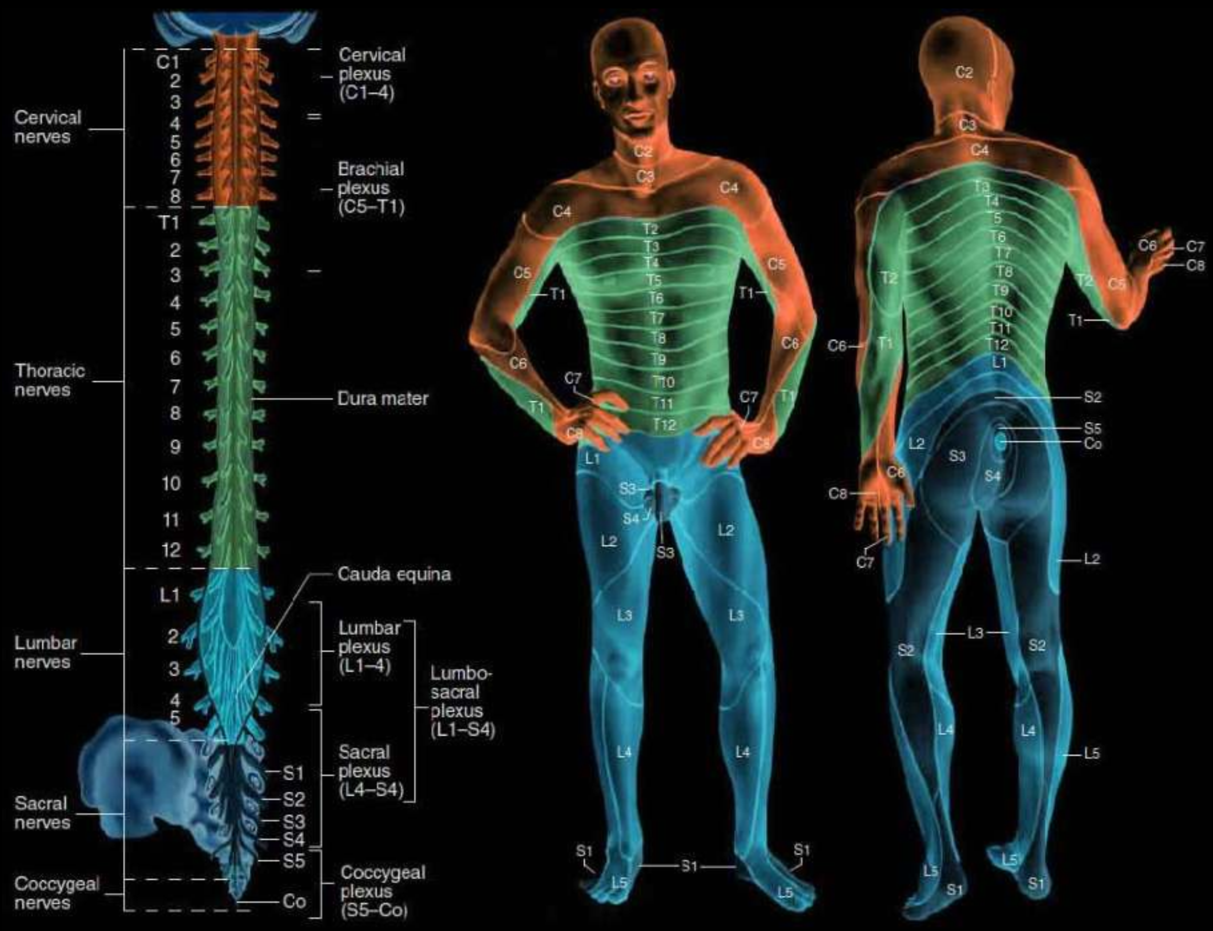
เส้นประสาทไขสันหลัง มีทั้งหมด 31 คู่ แบ่งเป็น

=> ระดับคอ (Cervical spinal nerve) 8 คู่
=> ระดับอก (Thoracic spinal nerve) 12 คู่
=> ระดับเอว (Lumbal spinal nerve) 5 คู่
=> ระดับกระเบนเหน็บ (Sacral spinal nerve) 5 คู่
=> ระดับก้นกบ (Coccygeal spinal nerve) 1 คู่

เส้นประสาทไขสันหลังระดับคอ ระดับคอที่ 1 ถึง 4 จะรวมกันเป็นร่างแหประสาท เรียกว่า cervical plexus ไปเลี้ยงผิวหนังบริเวณคอและไหล่ รวมทั้งกล้ามเนื้อคอด้วย มีแขนงที่สำคัญ ชื่อ **phrenic nerve** ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยเส้นใยประสาทจากเส้นประสาทไขสันหลังระดับคอ ระดับที่ 4 ไปควบคุมกล้ามเนื้อกระบังลม ซึ่งมีความสำคัญในการหายใจ ถ้าเส้นประสาทไขสันหลังระดับ C4 ถูกทำลาย จะทำให้ผู้ป่วยหยุดหายใจ

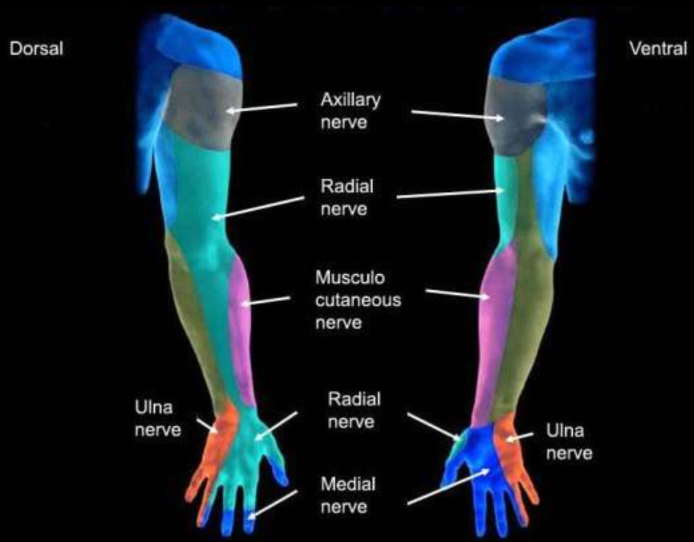
เส้นประสาทไขสันหลังระดับ C5- T1 จะรวมกันเป็น **Brachial plexus** แล้วแตกแขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและผิวหนังของแขนและมือ เส้นประสาทสำคัญๆ ได้แก่

**1. Median nerve** เส้นประสาทนี้ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อปลายแขนด้านหน้า กล้ามเนื้อฝ่ามือด้านนิ้วหัวแม่มือ และเลี้ยงผิวหนังของนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลาง เส้นประสาทเส้นนี้ถูกกดจะทำให้เกิดอาการชาบริเวณทั้ง 3 นิ้วนั้น




รูปที่ 13-42 แสดงเส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerve) และบริเวณของผิวหนังที่เลี้ยงโดยเส้นประสาทไขสันหลัง

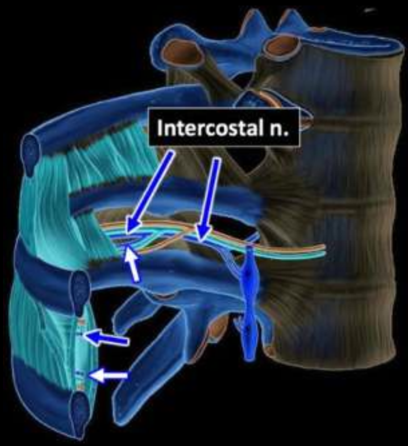
**2. Radial nerve** เส้นประสาทนี้ให้แขนงไปเลี้ยง กล้ามเนื้อต้นแขนด้านหลังและกล้ามเนื้อปลายแขนด้านหลัง คือ extensor muscle ด้านนิ้วหัวแม่มือ และผิวหนังด้านนอกของต้นแขนและปลายแขน เส้นประสาทนี้ถ้าถูกกดหรือถูกตัด จะทำให้ข้อมือตก




รูปที่ 13-43 แสดงเส้นประสาท Median nerve, Radial nerve, Ulna nerve และบริเวณที่ไปเลี้ยง

**3. Ulna nerve** เส้นประสาทนี้ไปเลี้ยงให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อของนิ้วก้อยและกล้ามเนื้อมัดเล็กๆ ของฝ่ามือ ถ้าเส้นประสาทเสีย จะทำให้นิ้วมืองอ

เส้นประสาทระดับอก จะให้แขนงไปตามช่องซี่โครง เรียกว่า **intercostal nerve** ทำหน้าที่รับความรู้สึกและควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครง




รูปที่ 13-44 แสดงเส้นประสาท intercostal nerve

เส้นประสาทไขสันหลังระดับ L4 L5 และ S1 ถึง S3 จะรวมกันเป็น **sacral plexus** ไปเลี้ยงสะโพกและขา โดยมีเส้นประสาทใหญ่นี้ออกมาชื่อว่า sciatic nerve เส้นประสาทนี้จะให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อด้านหลังของต้นขา และพบถึงระดับข้อพับหลังเข่าจะแตกเป็น 2 แขนง ชื่อ common peroneal nerve และ tibial nerve โดย common peroneal nerve จะให้แขนง ชื่อ superficial peroneal nerve เลี้ยงกล้ามเนื้อด้านข้างของปลายขา และอีกแขนงชื่อ deep peroneal nerve ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อกล้ามเนื้อปลายขาด้านหน้า สำหรับ tibial nerve จะให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อน่อง

เส้นประสาทไขสันหลังระดับ T12 ถึง L3 จะรวมกันเป็น **lumbar plexus** ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและรับความรู้สึกจากส่วนล่างของหน้าท้อง ด้านหน้าและด้านในของต้นขา ทางด้านหน้าของต้นขาจะมีเส้นประสาทชื่อ femoral nerve เลี้ยงกล้ามเนื้อต้นขาทางด้านหน้า คือ quadriceps femoris muscle

************************************

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

---

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาทอัตโนมัติ
(Anatomy and Physiology of Autonomic nervous system)

**จำนวนชั่วโมง** 2 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาทอัตโนมัติ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. นิยามคำว่าระบบประสาทอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง
2. บอกชื่อเนื้อเยื่อที่ถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง
3. บอกชนิดของระบบประสาทอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง
4. เปรียบเทียบความแตกต่างของระบบประสาทอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายกายวิภาคระบบประสาทพาราซิมพาเทติกได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายกายวิภาคระบบประสาทซิมพาเทติกได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายสารสื่อประสาทแอซิติลโคลีนและตัวรับได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายสารสื่อประสาทนอร์เอพิเนฟฟรินและตัวรับได้อย่างถูกต้อง
9. อธิบายสารสื่อประสาทเอพิเนฟฟรินและตัวรับได้อย่างถูกต้อง
10. อธิบายผลทางสรีรวิทยาของอวัยวะต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 14

**************************************

# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาทอัตโนมัติ
# (Anatomy and Physiology of Autonomic nervous system)

**ตอนที่ 1 โครงสร้างระบบประสาทอัตโนมัติ**

1.1 ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

1.2 ระบบประสาทซิมพาเทติก

**ตอนที่ 2 สารสื่อประสาทและตัวรับระบบประสาทอัตโนมัติ**

2.1 แอซิติลโคลีน

2.2 นอร์เอพิเนฟฟริน

2.3 เอพิเนฟฟริน

**ตอนที่ 3 ผลทางสรีรวิทยาของอวัยวะต่าง ๆ**

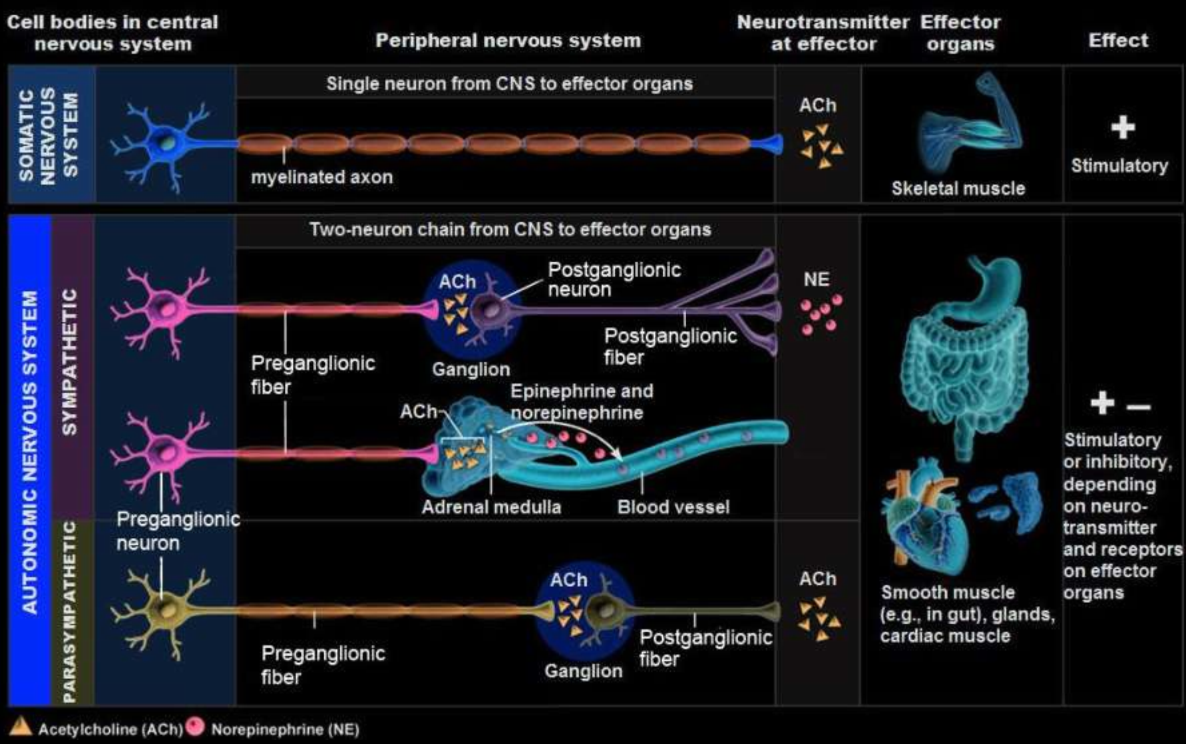
# บทที่ 14
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบประสาทอัตโนมัติ
# (Anatomy and Physiology of Autonomic Nervous system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. (สรีรวิทยา)

ระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system หรือ ANS) เป็นส่วนหนึ่งของระบบประสาทส่วนปลาย อยู่**นอกอำนาจจิตใจ (involuntary)** ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกาย ให้อยู่ใน**สภาวะคงที่ (homeostasis)** โดยการควบคุมสมดุลของสิ่งแวดล้อมภายในร่างกาย ให้มีความเหมาะสมกับพฤติกรรมของร่างกายในขณะนั้นๆ การควบคุมแบบอัตโนมัตินี้เป็นการคานดุลกันของชุดควบคุม 2 ชุด ชุดแรกคือระบบประสาท parasympathetic อีกชุด คือระบบประสาท sympathetic ระบบประสาท parasympathetic ทำให้ให้ร่างกายอยู่ในสภาวะของการพักผ่อน ในขณะที่ระบบประสาท sympathetic จะเตรียมร่างกายให้พร้อมรับสถานการณ์วิกฤติ สามารถรับมือโดยการสู้หรือหนี

เนื้อเยื่อที่ถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ ได้แก่

1. **กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle)** เช่น กระเพาะอาหาร ลำไส้ กล้ามเนื้อม่านตา มดลูก ม่านตา
2. **กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)** รวมทั้งเซลล์กำเนิดคลื่นไฟฟ้าหัวใจและเนื้อเยื่อนำคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
3. **ต่อมมีท่อชนิดต่างๆ (exocrine gland)** เช่น ต่อมเหงื่อ ต่อมน้ำลาย ต่อมผลิตน้ำตา ต่อมผลิตน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหาร ยกเว้นต่อมไขมันที่ผิวหนัง
4. **ต่อมไร้ท่อ (endocrine gland)** บางตำแหน่ง เช่น ต่อมหมวกไตชั้นใน

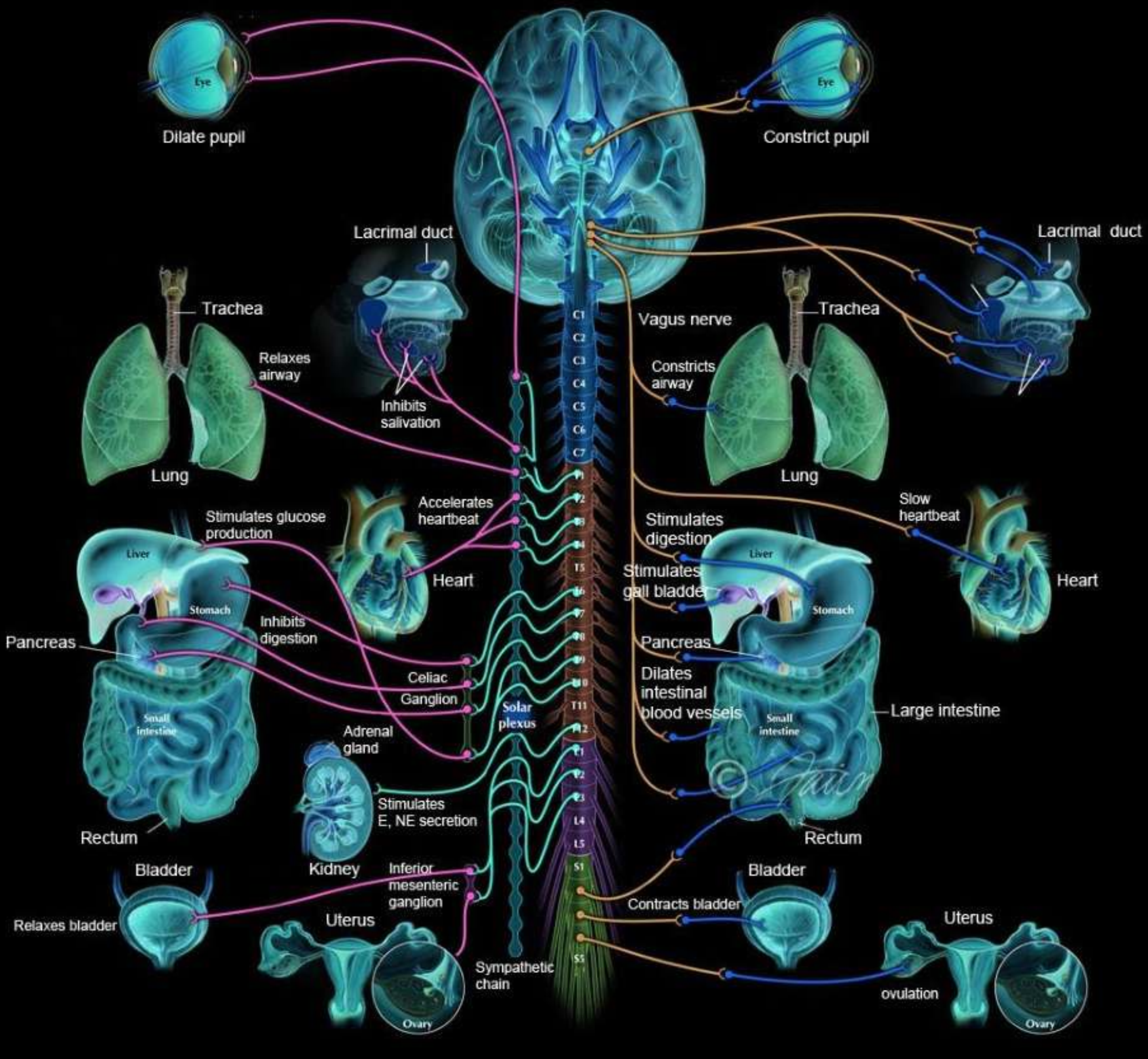



รูปที่ 14-1 แสดงความแตกต่างระหว่าง somatic nervous system และ autonomic nervous system

## ตอนที่ 1
## โครงสร้างระบบประสาทอัตโนมัติ

ระบบประสาทอัตโนมัติประกอบด้วยเซลล์ประสาทสั่งการเชื่อมกัน 2 กลุ่ม กลุ่มแรกอยู่ในสมองและไขสันหลัง กลุ่มที่สองอยู่ในปมประสาท เรียกว่า **ganglia** เซลล์ประสาทลำดับแรก เรียกว่า **preganglionic neuron** มีเส้นใยประสาทออกจากตัวเซลล์ เรียกว่า **preganglionic fiber** เส้นใยประสาทเหล่านี้จะส่งกระแสประสาทไปยังเซลล์ประสาทลำดับที่ 2 ที่อยู่ในปมประสาท เรียกเซลล์ประสาทลำดับที่ 2 ว่า **postganglionic neuron** และเรียกเส้นใยประสาทที่ออกจากเซลล์ไปยังอวัยวะเป้าหมาย เรียกว่า **postganglionic fiber**

ระบบประสาทอัตโนมัติ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ **ระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic nervous system)** และ**ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (parasympathetic nervous system)** มีลักษณะทำงานเป็นแบบการคานดุลกัน เพื่อจะปรับสมดุลของอวัยวะภายใน ในขณะนั้นๆ เช่น ระบบประสาทซิมพาเทติก กระตุ้นให้หัวใจบีบตัวเร็วและแรงขึ้น ในขณะที่ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก จะมีผลทำให้หัวใจเต้นช้าลง เป็นต้น




รูปที่ 14-2 แสดงระบบประสาทซิมพาเทติก (ซ้าย) และ ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (ขวา)

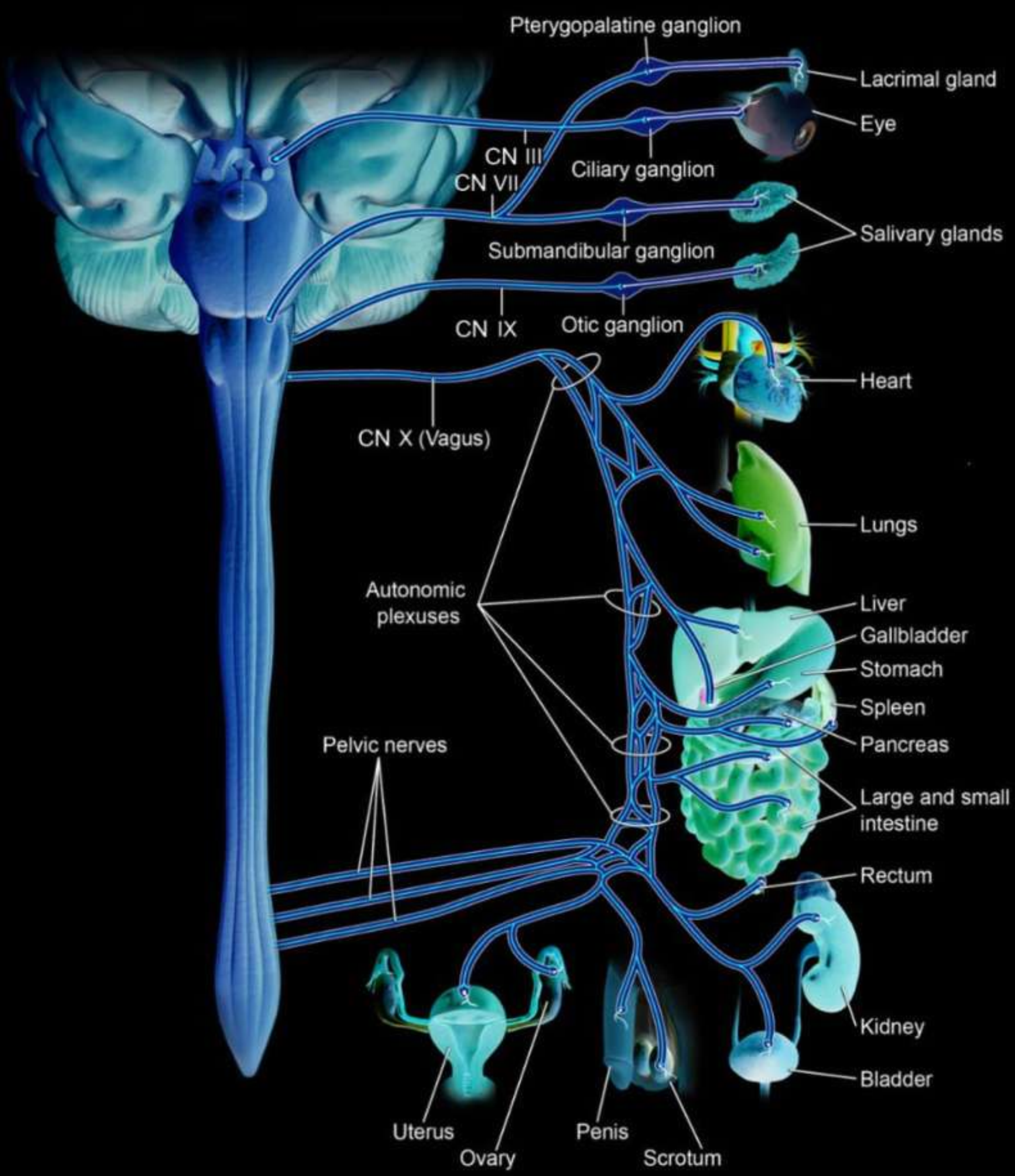
## 1.1 ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic nervous system)

preganglionic neuron ของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกอยู่ในก้านสมอง (brain stem) ส่งสัญญาณประสาทเป็น **cranial outflow** และไขสันหลังส่วนสะโพก (sacral spinal cord) ส่งสัญญาณประสาทเป็น **sacral outflow** ไปไซแนปส์กับ postganglionic neuron ที่อยู่ในปมประสาทที่อยู่ใกล้หรืออยู่ในอวัยวะเป้าหมาย

**=> Cranial outflow :** preganglionic neuron จะส่ง parasympathetic outflow ไปกับเส้นประสาทสมอง**คู่ที่ 3** (oculomotor nerve) **คู่ที่ 7** (facial nerve) **คู่ที่ 9** (glossopharyngeal nerve) **คู่ที่10** (vagus nerve)

**=> Sacral outflow :** preganglionic fiber มาจากเซลล์ประสาทของไขสันหลังส่วนสะโพก ระดับ S2-S4 รวมกันเป็น pelvic nerve ไปเลี้ยงอวัยวะภายในช่องเชิงกราน

การที่ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก มี preganglionic neuron ที่สมองส่วนก้านสมองและไขสันหลัง จึงเรียกว่า **craniosacral division**




รูปที่ 14-3 แสดงเซลล์ประสาท เส้นประสาท และปมประสาท ของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

**ตารางที่ 14-1 แสดง Parasympathetic division**

| เส้นประสาท | จุดเริ่มของ preganglionic fibers | ตำแหน่งของ terminal ganglia | อวัยวะเป้าหมาย |
|---|---|---|---|
| Oculomotor nerve (CN III) | midbrain | ciliary ganglion | ตา (กล้ามเนื้อเรียบใน iris และ ciliary body) |
| Facial nerve (CN VII) | pons | pterygopalatine ganglion และ submandibular ganglion | ต่อมน้ำตา, ต่อมน้ำลาย |
| Glossopharygeal nerve (CN IX) | medulla | otic ganglion | ต่อมน้ำลาย parotid gland |
| Vagus nerve (CN X) | medulla | อยู่ในหรือใกล้อวัยวะ | หัวใจ ปอด ทางเดินอาหาร ตับ ตับอ่อน |
| Pelvic spinal nerve | S2-S4 | อยู่ในหรือใกล้อวัยวะ | ครึ่งล่างของลำไส้ใหญ่ เรคตั้ม กระเพาะปัสสาวะ และอวัยวะในระบบสืบพันธุ์ |

## 1.2 ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nervous system)

ระบบประสาทซิมพาเทติก มีเซลล์ประสาทลำดับแรกอยู่ที่ไขสันหลัง ตั้งแต่กระดูกสันหลังส่วนอกอันที่ 1 (T1) ถึงกระดูกสันหลังส่วนเอวอันที่ 3-4 (L3-4) ซึ่งจะมี preganglionic nerve fiber ออกมาทาง ventral root ของไขสันหลัง แล้วจึงแยกออกมาผ่าน white ramus communicans เข้าสู่เซลล์ประสาทลำดับที่สองที่อยู่ในปมประสาทซิมพาเทติก (sympathetic ganglia) ซึ่งมีลักษณะเรียงต่อกันเป็นสายอยู่ข้างกระดูกสันหลัง ยาวตั้งแต่กระดูกสันหลังส่วนคอจนถึงกระดูกก้นกบ เรียกสายของปมประสาทนี้ว่า sympathetic chain หรือ sympathetic trunk

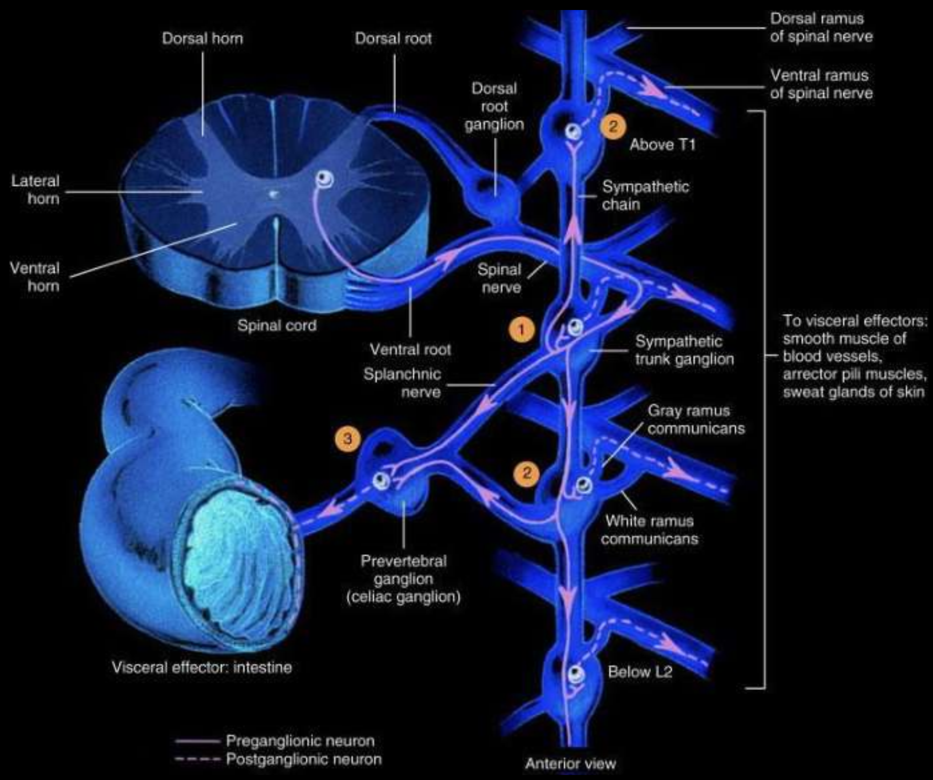
เมื่อ preganglionic nerve fiber ผ่านเข้าสู่ sympathetic trunk แล้ว วิถีประสาทจะแบ่งได้เป็น 3 ทาง

1) ผ่านขึ้น หรือลง ไปตาม sympathetic trunk แล้วประสานกับเซลล์ประสาทในปมประสาท ในระดับที่สูงหรือต่ำกว่าระดับเริ่มต้น จากนั้นให้ postganglionic nerve fiber กลับเข้าสู่เส้นประสาทไขสันหลังทาง gray ramus communicans เพื่อไปควบคุมอวัยวะตอบสนอง

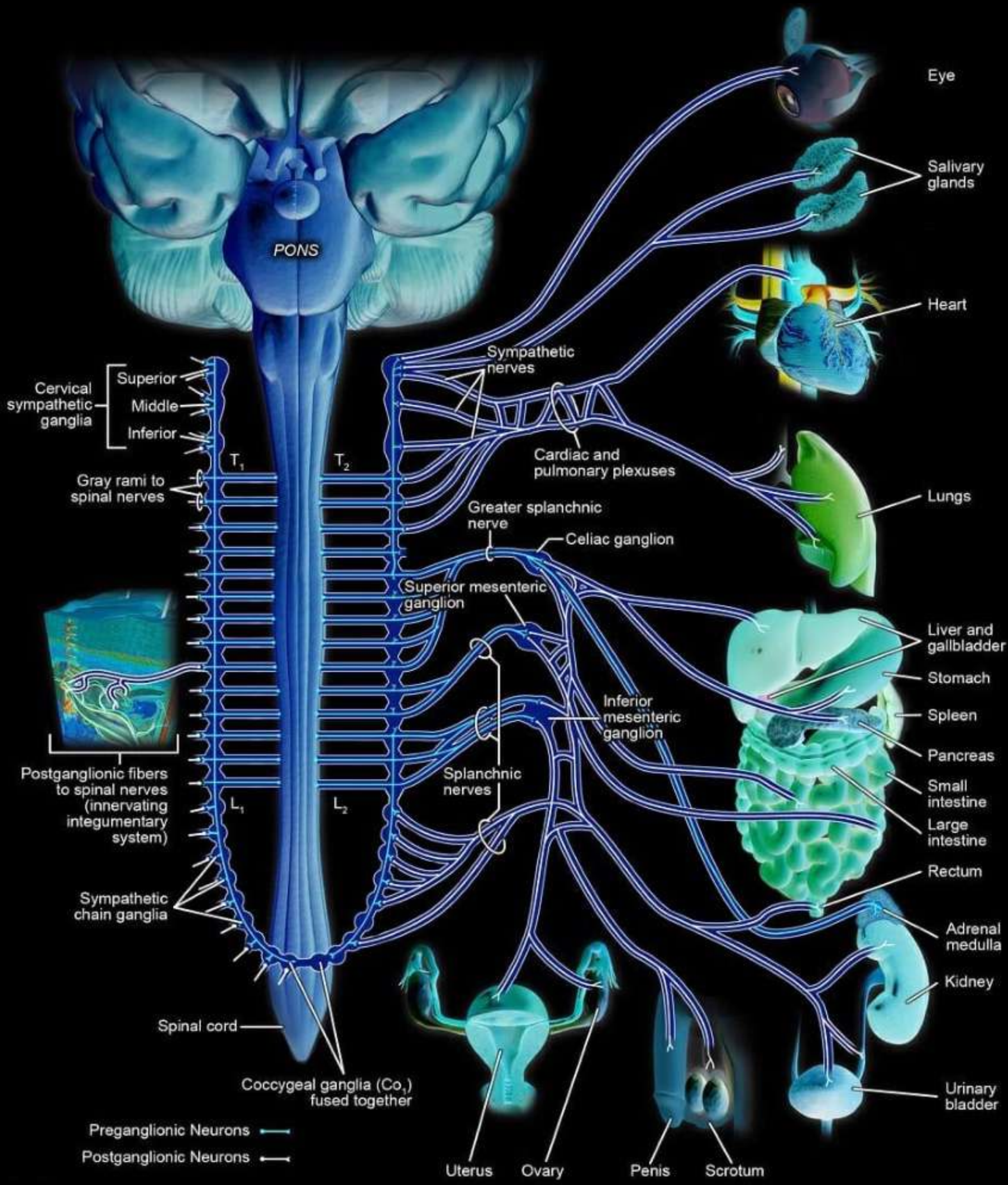
2) ผ่านเลยออกไปเข้าสู่เส้นประสาทที่ไป prevertebral ganglia ได้แก่ celiac ganglion, superior mesenteric ganglion และ Inferior mesenteric ganglion ซึ่งอยู่ด้านหน้าของกระดูกสันหลัง แล้วประสานประสาทกับเซลล์ประสานในปมประสาทนี้ ให้ postganglionic nerve fiber ไปควบคุมอวัยวะภายในช่องท้อง ช่องเชิงกราน

3) ผ่านเลยออกไปประสานโดยตรงกับเซลล์ chromaffin ในต่อมหมวกไตชั้นใน

พบว่า preganglionic neuron 1 ตัว จะเชื่อมต่อกับ postganglionic neuron จำนวน 63-196 ตัว และการมี nerve fiber ที่ยาว แตกแขนงและการกระจายกว้างขวางมากในร่างกายเมื่อเทียบกับระบบประสาทพาราซิมพาเทติก




รูปที่ 14-4 แสดงวิถีประสาทของระบบประสาทซิมพาเทติกที่ออกจากไขสันหลัง




รูปที่ 14-5 แสดงเซลล์ประสาทลำดับแรก เส้นประสาท ปมประสาทของระบบประสาทซิมพาเทติก

**ตารางที่ 14-2 แสดง Sympathetic division**

| จุดเริ่มในไขสันหลังของ preganglionic fiber | จุดเริ่มของ postganglionic fiber | อวัยวะที่ไปเลี้ยง |
|---|---|---|
| C8, T1 | cervical ganglion | ตา |
| T1-T4 | cervical ganglion | ศีรษะ และคอ |
| T1-T5 | upper thoracic (paravertebral) ganglion | ศีรษะ และปอด |

| | | |
|---|---|---|
| T2-T9 | lower cervical ganglion และ upper thoracic (paravertebral) ganglion | แขน |
| T4-T9 | celiac ganglion และ superior mesenteric (collateral) ganglion | อวัยวะภายในช่องท้อง ส่วนบน |
| T10, T11 | | ต่อมหมวกไต |
| T12-L2 | celiac ganglion และ inferior mesenteric (collateral) ganglion | ระบบปัสสาวะ และระบบสืบพันธุ์ |
| T9, L2 | lumbar ganglion และ upper sacral (paravertebral) ganglion | ขา |

## Enteric nervous system

enteric nervous system อยู่ในผนังทางเดินอาหาร (gastrointestinal tract) ประกอบด้วย

**1) myenteric plexus (Auerbach's plexus)** อยู่ระหว่าง longitudinal muscle และ circular muscle ของลำไส้

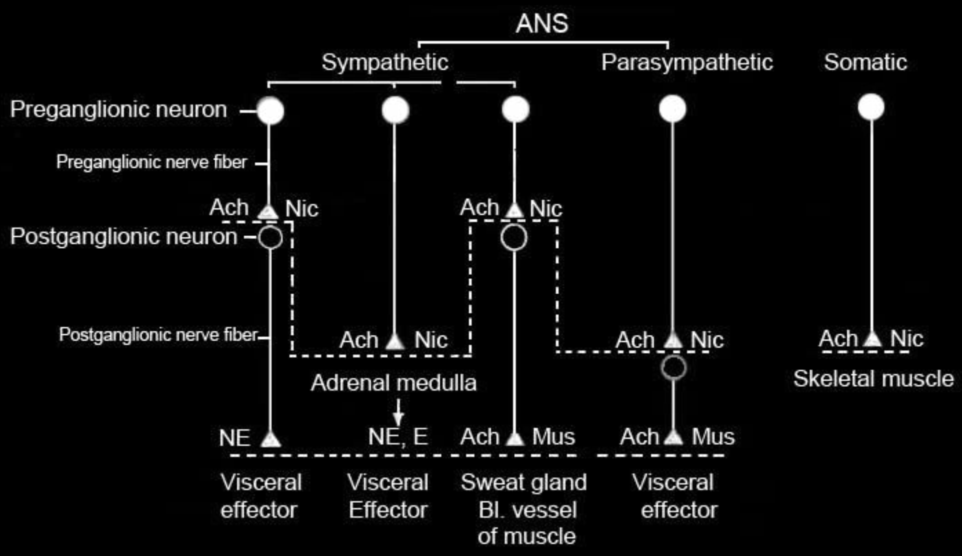
**2) submucosal plexus (Meissner's plexus)** ซึ่งอยู่ในชั้น submucosal ของลำไส้ เซลล์ประสาทของ myenteric plexus มีหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของทางเดินอาหาร ในขณะที่ submucosal plexus มีหน้าที่ควบคุมการขนส่งของไอออนและน้ำ ผ่าน intestinal epithelium และการหลั่งสารจากต่อมในทางเดินอาหาร

นอกจาก enteric nervous system สามารถทำงานได้เองแล้ว ยังถูกควบคุมจาก sympathetic fiber และ parasympathetic fiber ที่มายัง myenteric plexus และ submucosal plexus โดยที่ parasympathetic system จะกระตุ้นการทำงานของระบบทางเดินอาหาร ในขณะที่ sympathetic system ยับยั้งการทำงานของระบบทางเดินอาหาร

************************************

## ตอนที่ 2
## สารสื่อประสาทและตัวรับระบบประสาทอัตโนมัติ

สารสื่อประสาทในระบบประสาทอัตโนมัติมี 2 ชนิด ได้แก่ **แอซิติลโคลีน (acetylcholine)** และ**นอร์เอพิเนฟริน (norepinephrine หรือ noradrenaline)** เส้นใยประสาทที่หลั่งแอซิติลโคลีน เรียกว่า **เส้นใยโคลิเนอร์จิก (cholinergic fiber)** ส่วนเส้นใยประสาทที่หลั่งนอร์เอพิเนฟรินเรียกว่า **เส้นใยอะดรีเนอร์จิก (adrenergic fiber)** ทั้งระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติกมี preganglionic fiber ชนิดโคลิเนอร์จิก แต่ postganglionic fiber ของระบบประสาท ทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกัน คือ postganglionic fiber ของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกเป็นเส้นใยโคลิเนอร์จิก ส่วนใหญ่ของระบบประสาทซิมพาเทติกเป็นเส้นใยอะดรีเนอร์จิก มียกเว้นบางส่วนเป็น sympathetic cholinergic fiber ซึ่งไปยังต่อมเหงื่อ กล้ามเนื้อขนลุกของเส้นผม และเส้นเลือดในกล้ามเนื้อลาย (รูปที่ 14-6)




รูปที่ 14-6 แสดงการหลั่งสารสื่อประสาทของประสาทอัตโนมัติ

### 2.1 แอซิติลโคลีน (Acetylcholine, Ach)

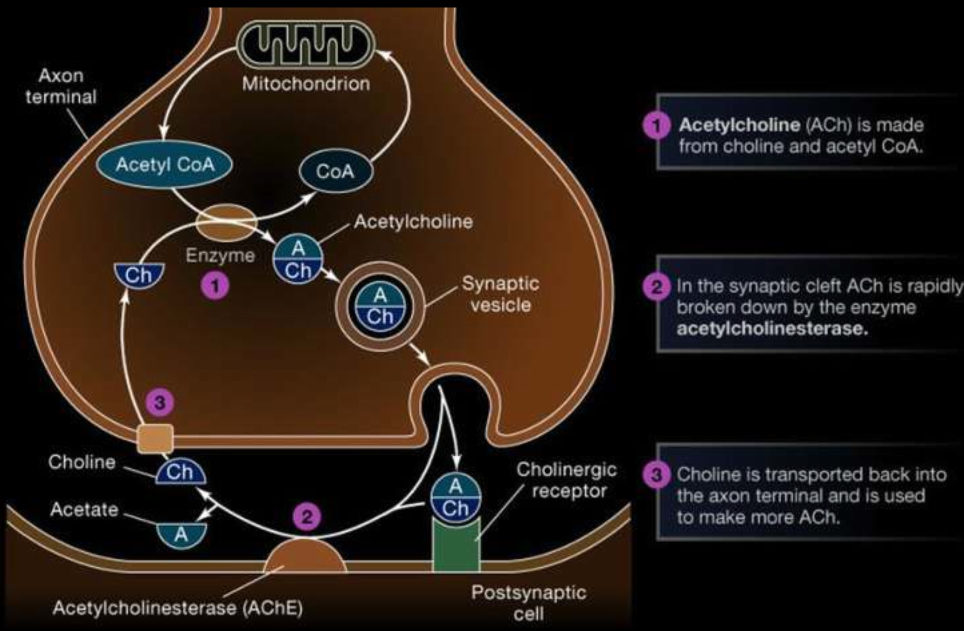
เป็นสารสื่อประสาทของปลายประสาท preganglionic fiber ที่ส่งเข้าปมประสาทของทั้งระบบซิมพาเทติกและประสาทพาราซิมพาเทติก และพบที่ปลายประสาทของ postganglionic ของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก และที่ postganglionic ของระบบระบบซิมพาเทติกบางตัว เช่น ที่ไปต่อมเหงื่อ และหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อลาย

การสังเคราะห์แอซิติลโคลีน เริ่มจากปลายประสาทจะดูดซึมโคลีนเข้าสู่ไซโตพลามซึม โคลีนจะรวมกับกลุ่ม acetyl จาก acetyl CoA โดยเอ็นไซม์ choline acetyltransferase ได้เป็นแอซิติลโคลีน เก็บสะสมไว้ในถุง เมื่อมีคลื่นประสาทวิ่งมาถึง ปลายประสาทจะเปิดช่องให้ช่องแคลเซียมเข้ามาในปลายประสาท เพื่อช่วยดึงถุงให้มาสัมผัสเยื่อหุ้มเซลล์ แล้วหลั่งแอซิติลโคลีน ผ่านช่องว่างซินแนปส์ ไปกระทำต่อตัวรับที่ เรียกว่า **cholinergic receptor** ที่เซลล์ถัดไป เมื่อทำงานเสร็จจะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว โดยแอซิติลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholinesterase) ที่อยู่ตามผิวเยื่อหุ้มเซลล์ให้กลายเป็นโคลีน และกรดอะเซติก นอกจากนี้โคลีนส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมกลับที่ปลายประสาทเพื่อสังเคราะห์แอซิติลโคลีนใหม่

แอซิติลโคลีนมีคุณสมบัติเป็นทั้งแบบกระตุ้นและแบบยับยั้งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวรับ cholinergic receptor ซึ่งมี 2 ชนิด ได้แก่

**1) Nicotinic receptor (Nn receptor)** มีตำแหน่งอยู่ที่รอยต่อของปลายประสาทและกล้ามเนื้อลาย เมื่อ Ach จับกับตัวรับ Nicotinic receptor แล้ว จะเปิดช่องทางโซเดียม ($Na^+$ channel) แล้วทำให้เกิดโซเดียมเข้ามาในเซลล์ ($Na^+$ influx) ทำให้เกิด depolarization ใน postganglionic cells ตามมา ดังนั้นจึงมีผลกระตุ้นการทำงานเสมอ

**2) Muscarinic receptor (Nm receptor)** ปัจจุบันมีข้อมูลว่ามีตัวรับอย่างน้อย 5 แบบ ได้แก่ M1, M2, M3, M4 และ M5 receptor พบที่อวัยวะภายในต่างๆ เช่น กล้ามเนื้อหัวใจ ทางเดินอาหาร ทางเดินปัสสาวะ ม่านตา ฯลฯ การทำงานอาจเป็นการกระตุ้น เช่น เพิ่มการเคลื่อนไหวของทางเดินอาหาร เพิ่มการหลั่งน้ำย่อย (ผ่านตัวรับ M1) หรืออาจไปยับยั้ง เช่น ทำให้หัวใจเต้นช้าลง (ผ่านตัวรับ M2)




รูปที่ 14-7 แสดงการสังเคราะห์สารสื่อประสาท Acetylcholine

**2.2 นอร์เอพิเนฟฟริน (Norepinephrine, NE)**

ถูกสังเคราะห์โดยปลายประสาท postganglionic fiber ของประสาทซิมพาเทติก จากกรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) โดยเอ็นไซม์ไทโรซีนไฮดรอกซีเลส (tyrosine hydroxylase) ให้กลายเป็นแอลโดปา (L-DOPA) ซึ่งจะถูกเอ็นไซม์ dopa-decarboxylase แปลงเป็นโดปามีน (dopamine) แล้วถูก dopamine beta-oxydase แปลงให้เป็น NE

ผลของนอร์เอพิเนฟฟรินต่อเซลล์ของอวัยวะต่างๆ จะผ่านตัวรับ adrenergic receptor ซึ่งมักจะให้ผลในทางตรงข้ามกับประสาทพาราซิมพาเทติก เช่น ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น เนื้อเยื่อแต่ละชนิดอาจถูกกระตุ้นหรือยับยั้งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวรับบนเนื้อเยื่อนั้น ได้แก่ ตัวรับแอลฟา (alpha, $\alpha$ receptor) และตัวรับเบต้า (beta, $\beta$ receptor) ดังนี้

**1) อวัยวะที่มีแอลฟ่ารีเซปเตอร์** มักถูกกระตุ้นโดยนอร์เอพิเนฟฟริน ยกเว้นทางเดินอาหาร เช่น หลอดเลือดที่ผิวหนังมีแอลฟ่ารีเซปเตอร์มาก มักถูกกระตุ้นโดยนอร์เอพิเนฟฟริน ทำให้หลอดเลือดหดตัว ส่วนที่ลำไส้ นอร์เอพิเนฟฟริน มักไปลดความถี่และความแรงในการบีบตัว ตัวรับแอลฟ่ารีเซปเตอร์ มี 2 กลุ่ม ได้แก่

**=> แอลฟ่า 1** ($\alpha_1$) มักพบอยู่ในอวัยวะภายในทั่วไป

**=> แอลฟ่า 2** ($\alpha_2$) มักพบอยู่บนปลายประสาทด้าน presynaptic ของประสาทซิมพาเทติก

**2) อวัยวะที่มีเบต้ารีเซปเตอร์** มักถูกยับยั้งโดยนอร์เอพิเนฟฟริน (ส่วนใหญ่เป็นเบต้า 2) ยกเว้นที่หัวใจ (ส่วนใหญ่เป็นเบต้า 1) เช่น กล้ามเนื้อเรียบของหลอดลมจะถูกทำให้ขยายตัว แต่ที่หัวใจจะเกิดการกระตุ้นทำให้คลื่นไฟฟ้าใน SA node ถี่ขึ้น และความเร็วของคลื่นไฟฟ้าที่วิ่งผ่านเนื้อเยื่อนำคลื่นไฟฟ้าเร็วขึ้น จึงทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเร็วขึ้น เบต้ารีเซปเตอร์ มี 3 ชนิด ได้แก่

**=> เบต้า 1** ($\beta_1$) พบมากที่หัวใจ ลำไส้ และ JG apparatus ของไตที่ทำหน้าที่หลั่งเรนิน

**=> เบต้า 2** ($\beta_2$)พบมากที่หลอดลม หลอดเลือด เมื่อได้รับนอร์เอพิเนฟฟริน มักเกิดการคลายตัว

**=> เบต้า 3** ($\beta_3$) พบมากที่เนื้อเยื่อไขมัน เมื่อได้รับนอร์เอพิเนฟฟริน จะเกิดการย่อยสลายไขมัน ได้เป็นกรดไขมันและไทรกลีเซอร์ไรด์ เข้าสู่กระแสเลือด e

**2.3 เอพิเนฟฟริน (Epinephrine, E)**

โครแมฟฟินเซลล์ (chromaffin cells) ของหมวกไตชั้นใน มีเอ็นไซม์ เฟนิล เอททะโนลามีน เอน เมททิล ทรานเฟอเรส (Phenylethanolamine N-methyltransferase, PNMT) ทำหน้าที่เปลี่ยนเป็น นอร์เอพิเนฟฟริน (norepinephrine, NE) เป็นเอพิเนฟฟริน (epinephrine, E) ได้ประมาณ 80% จากนั้นหลั่งเข้าสู่กระแสเลือด เอพิเนฟฟรินที่เข้าสู่กระแสเลือด มีผลต่อเมตาบิลิซึม โดยการไปสลายไกลโคเจนในตับและกล้ามเนื้อลายให้เป็นกลูโคส (glycolysis) และเพิ่มการสลายไขมัน (lipolysis) ทำให้มีไตรกลีเซอร์ไรด์และกรดไขมันในเลือดสูงขึ้น

เอพิเนฟฟรินที่เข้าสู่กระแสเลือดจะไปกระทำต่อตัวรับแอลฟ่า และเบต้าของเซลล์แสดงผล เช่นเดียวกับนอร์เอพิเนฟฟริน แต่มีผลค่อนข้างเด่นชัดกว่า เอพิเนฟฟรินสามารถเพิ่มความแรงในการบีบตัวของหัวใจ และกระตุ้นการใช้พลังงานของหัวใจ และมีส่วนทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดในมัดกล้ามเนื้อลาย

************************************

## ตอนที่ 3
## ผลทางสรีรวิทยาของอวัยวะต่าง ๆ

การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกอาจกระตุ้นการทำงานของบางอวัยวะหรือยับยั้งการ ทำงานของบางอวัยวะ ในทำนองเดียวกัน ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกไปกระตุ้นหรือยับยั้งการ ทำงานของบางอวัยวะ โดยปกติแล้วระบบประสาททั้งสองชนิดจะควบคุมการทำงานของแต่ละ อวัยวะในทางที่ตรงข้ามกัน (antagonistic effect) อย่างไรก็ตามพบว่าอวัยวะส่วนใหญ่ถูกควบคุม โดยระบบใดระบบหนึ่งเป็นหลัก ดังสรุปในตารางที่ 14-3

**ตา**

ระบบประสาทอัตโนมัติควบคุมการทำงานของตา ได้แก่ การควบคุมขนาดของรูม่านตา และการปรับความโค้งหรือระยะโฟกัสของเลนส์ การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้ radial muscle ของม่านตาหดตัวส่งผลให้รูม่านตาขยาย (mydriasis) ส่วนการกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติกทำให้ circular muscle ของม่านตาหดตัวจึงมีการหดตัวของรูม่านตา (miosis)

ส่วนใหญ่แล้วระบบประสาทพาราซิมพาเทติกมีหน้าที่ปรับระยะโฟกัสของเลนส์ ในภาวะปกติเลนส์จะมีลักษณะแบนจากแรงดึงของ radial ligament ที่ยึดเลนส์ไว้ เมื่อมีการกระตุ้นของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกจะทำให้ ciliary muscle หดตัว ล่งผลให้แรงตึงของ suspensory ligament ลดลง แล้วทำให้เลนส์มีลักษณะนูนขึ้นเพื่อปรับให้เห็นภาพที่อยู่ใกล้ชัดเจนขึ้น

**ระบบทางเดินอาหาร**

การกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติกมีผลเพิ่มการทำงานของระบบทางเดินอาหาร โดยไปเพิ่มการหดตัวแบบ peristaltic contraction ของทางเดินอาหารและทำให้กล้ามเนื้อหูรูดคลายตัว จึงเป็นการขับอาหารให้เคลื่อนที่ไปตามทางเดินอาหารได้ ในขณะเดียวกันจะมีการเพิ่มการหลั่งน้ำย่อยจากต่อมต่าง ๆ ในทางเดินอาหาร ในภาวะปกติระบบประสาทซิมพาเทติกมีผลต่อการ ทำงานของระบบทางเดินอาหารน้อยมาก ภาวะที่มีการกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกอย่างรุนแรง เช่น ขณะการออกกำลังกายอย่างหนัก จะทำให้ peristaltic contraction ลดลง กล้ามเนื้อหูรูดหดตัว การหลั่งน้ำย่อยลดลง และอาจทำให้มีการท้องผูกได้

**หัวใจ หลอดเลือด และความดันโลหิต**

การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติก ทำให้เพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ และความแรงของ การหดตัว ส่งผลให้ความดันโลหิต (blood pressure) สูงขึ้นและปริมาตรเลือดส่งออกจากหัวใจต่อนาที (cardiac output) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนและกลูโคสเพื่อเตรียมสำหรับการสู้หรือหนี ในทางตรงข้าม การกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ทำให้หัวใจเต้นช้าลงและความแรงในการบีบตัวของหัวใจลดลง ดังนั้นความดันโลหิตและ cardiac output จึงลดลงในเวลา ต่อมาเส้นประสาทเวกัส (vagus nerve) เป็นเส้นประสาทสมองเส้นที่ 10 ในระบบประสาทพาราซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงหัวใจและควบคุมการเต้นของหัวใจ (ซึ่งเกิดจากการทำงานของ intrinsic pacemaker) หากมีการรบกวนการทำงานของเส้นประสาทเวกัส เช่น ในกรณีที่มีการผ่าตัดเปลี่ยน หัวใจ (heart transplant) จะทำให้หัวใจเต้นช้ากว่าปกติได้

การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้หลอดเลือดส่วนใหญ่ในร่างกายมีการหดตัว หลอดเลือดที่ได้รับอิทธิพลมาก ได้แก่ หลอดเลือดในช่องท้องและที่ผิวหนัง ส่วนการกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติกนั้นมีผลต่อหลอดเลือดน้อยมาก แต่ทำให้เกิดการคลายตัวของหลอดเลือดได้เฉพาะบริเวณ เช่น หลอดเลือดของใบหน้าคลายตัว

**ต่อมต่าง ๆ**

ระบบประสาทอัตโนมัติมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการหลั่งสารจาก ได้แก่ ต่อมในจมูก (nasal gland) ต่อมน้ำตา (lacrimal gland) ต่อมน้ำลาย (salivary gland) และต่อมต่าง ๆ ในทางเดินอาหาร (gastrointestinal gland) ซึ่งระบบประสาทพาราซิมพาเทติกมีฤทธิ์กระตุ้นให้ต่อมเหล่านี้หลั่งสารเพิ่มขึ้นอย่างมาก

=> **ต่อมในส่วนต้นของทางเดินอาหาร** เช่น ช่องปากและกระเพาะอาหาร มีการหลั่งน้ำย่อยเพิ่มขึ้นเมื่อระบบประสาทพาราซิมพาเทติกถูกกระตุ้น ในขณะที่ enteric nervous system มีหน้าที่กระตุ้นให้ต่อมในส่วนปลายของทางเดินอาหาร (เช่น ลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่) หลั่งน้ำย่อยเพิ่มขึ้น

=> **ต่อมเหงื่อ** หลั่งเหงื่อออกมาในปริมาณมากในขณะที่ถูกกระตุ้นโดยระบบประสาทซิมพาเทติก แต่การหลั่งเหงื่อจะไม่เปลี่ยนแปลงหากกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติก โดยทั่วไปแล้ว sympathetic fiber ที่ไปยังอวัยวะต่าง ๆ เป็น adrenergic sympathetic fiber แต่ที่ไปยังต่อม เหงื่อส่วนใหญ่เป็น cholinergic sympathetic fiber

=> **ต่อม apocrine gland** ในรักแร้หลั่งสารที่มีกลิ่นเหม็นและมีลักษณะเหนียวข้นหลังจากที่ระบบประสาทซิมพาเทติกถูกกระตุ้น ส่วนระบบประสาทพาราซิมพาเทติกมีผลต่อการหลั่งสารจากต่อมนี้น้อยมาก

**ระบบหายใจ**

การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้กล้ามเนื้อเรียบของหลอดลมฝอย (bronchiole) คลายตัว ส่งผลให้หลอดลมขยายตัว (bronchodilation) ดังนั้นการระบายอากาศ (ventilation) จึงมากขึ้นในขณะสู้หรือหนี ส่วนระบบประสาทพาราซิมพาเทติกให้ผลในทางตรงข้ามคือ หลอดลมตีบแคบ (bronchoconstriction) และมีการหลั่งสารจากต่อมในทางเดินหายใจ (bronchial gland) ลดลง

**ระบบสืบพันธุ์**

โดยส่วนใหญ่แล้ว ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกและระบบประสาทซิมพาเทติกมีการงานที่ตรงข้ามกัน อย่างไรก็ตามในบางกรณีทั้งสองระบบนี้มีการทำงานที่ประสานกัน ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมการทำงานของอวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย ซึ่งการกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ทำให้อวัยวะเพศแข็งตัว (erection) และระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้น้ำอสุจิหลั่ง (ejaculation) ออกมา

**ระบบต่อมไร้ท่อ**

ระบบประสาทอัตโนมัติที่ทำงานรวดเร็วที่สุด ได้แก่ ระบบประสาทซิมพาเทติกที่ไปยังต่อมหมวกไตส่วนใน ซึ่งยังมีความแตกต่างจากระบบประสาทอัตโนมัติที่ไปยังอวัยวะอื่นตรงที่เซลล์ประสาทซิมพาเทติกที่ส่งแอกซอนไปเลี้ยงต่อมหมวกไตส่วนในเป็น preganglionic sympathetic neuron ดังนั้น chromaffin cells ของต่อมหมวกไตส่วนในจึงถือเป็น postganglionic sympathetic neuron ที่หลั่งสารสื่อประสาทเอพิเนฟริน

**ตารางที่ 14-3 แสดงการตอบสนองของอวัยวะต่างๆ ต่อสารสื่อประสาทของระบบประสาทซิมพาเทติก และระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ที่ควรทราบ**

| อวัยวะแสดงผล | ซิมพาเทติก | พาราซิมพาเทติก |
|---|---|---|
| หัวใจ | เต้นเร็วขึ้น (tachycardia) | เต้นช้าลง (bradycardia) |
| หลอดลมในปอด | ขยาย (dilatation) | หดตัว (constriction) |
| ต่อมน้ำลาย | น้ำลายเหนียว | น้ำลายเป็นน้ำ |
| กระเพาะอาหาร | การเคลื่อนไหวลดลง | การเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้น |

| ลำไส้ | ลดการบีบตัว | เพิ่มการบีบตัว |
|---|---|---|
| รูม่านตา | ขยาย (pupil dilatation) | หด (pupil constriction) |
| ต่อมเหงื่อ | เหงื่อออก | - |
| กระเพาะปัสสาวะ | หย่อน (relaxation) | หดตัว (contraction) |

************************************

เอกสารอ้างอิง


ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy : กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

สมฤดี สายหยุดทอง. (2558). *ประสาทสรีรวิทยา.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. (15th ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. (7th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. (8th ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**
**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**
**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** อวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ
(Special senses)

**จำนวน** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์ และสรีรวิทยา ตลอดจนทำงานของอวัยวะในระบบประสาทรับความรู้สึกพิเศษ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปใช้ในการเรียนการฝึกปฏิบัติด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้อย่างถูกต้อง

**ผลการเรียนรู้** เมื่อสิ้นสุดการเรียนการสอน นักเรียนสามารถ

1. ทราบชื่อ ความหมาย และหน้าที่ของอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษต่างๆ ในระบบประสาทมนุษย์
2. บอกลักษณะรูปร่าง โครงสร้าง และตำแหน่งของอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษได้
3. อธิบายกระบวนการทำงานของอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษต่างๆ ในสภาวะปกติได้
4. ทราบถึงกลไกการทำงานที่ผิดปกติของอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ ที่ทำให้เกิดอาการและอาการแสดงทางคลินิก หรือแสดงพฤติกรรมที่ผิดปกติ

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายความแตกต่างระหว่างระบบการรับความรู้สึกทั่วไปกับระบบรับความรู้สึกชนิดพิเศษได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายกระบวนการรับความรู้สึกได้อย่างถูกต้อง
4. บอกความหมาย หน้าที่และกลไกการทำงานของจมูกและการรับกลิ่นได้อย่างถูกต้อง
5. บอกความหมาย หน้าที่และกลไกการทำงานของลิ้นและการรับรสได้อย่างถูกต้อง
6. บอกส่วนประกอบ อวัยวะปกป้องและการเคลื่อนไหวของลูกตาได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายกระบวนการของการมองเห็นได้อย่างถูกต้อง
8. บอกภาวะความผิดปกติของดวงตาและการมองได้อย่างถูกต้อง
9. บอกความหมาย หน้าที่และกลไกการทำงานของหูและการได้ยินได้อย่างถูกต้อง
10. บอกความหมาย หน้าที่และกลไกการทำงานของหูและการทรงตัวได้อย่างถูกต้อง
11. บอกภาวะความผิดปกติของการได้ยินและการทรงตัวได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยาย
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การมอบหมายงานให้ผู้เรียนรายงาน/สืบค้นรายบุคคล

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. โปรแกรมนำเสนอ power point
2. อุปกรณ์สื่อโสตทัศนูปกรณ์
3. เอกสารคำสอน

**การวัดผล**

1. การสอบทบทวนกลางภาคเรียน
2. งานมอบหมาย ตรวจรายงานที่นักศึกษาจัดทำ

# บทที่ 15
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ
# (Anatomy and Physiology of Special senses)

ร.ต.อานนท์ ศิลาเพชร

การที่มนุษย์สามารถรับสัมผัสและความรู้สึกต่างๆ จากสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวได้นั้น เกิดขึ้นได้จากระบบรับความรู้สึก (sensory system) โดยจะมีตัวรับความรู้สึก (sensory receptor) ซึ่งอยู่ภายในอวัยวะต่างๆของร่างกายทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อมไปยังระบบประสาทของสมอง จากนั้นสมองจะแปลและประมวลผล เพื่อทำให้เกิดการรับรู้และการตอบสนองที่เหมาะสมต่อไป

ระบบรับความรู้สึกของมนุษย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ระบบการรับความรู้สึกทั่วไป (general sensory system) และระบบรับความรู้สึกชนิดพิเศษ (special sensory system)

**1. ระบบการรับความรู้สึกทั่วไป (general sensory system)**

การรับความรู้สึกทั่วไปประกอบด้วยการรับความรู้สึกทางกาย (somatic sense) และความรู้สึกของอวัยวะภายใน (visceral sense) โดยการรับความรู้สึกทางกาย ได้แก่ การรับความรู้สึกสัมผัส (touch), แรงกด (pressure), การสั่นสะเทือน (vibration), อุณหภูมิ (temperature), ความรู้สึกเจ็บ (pain), ความรู้สึกสัมผัสชนิดละเอียด (tactile discrimination) และความรู้สึกจากกล้ามเนื้อและข้อ (proprioception)

**2. ระบบรับความรู้สึกชนิดพิเศษ (special sensory system)**

การรับความรู้สึกชนิดพิเศษ ได้แก่ การรับกลิ่น (olfaction), การรับรส (gustation), การมองเห็น (vision), การได้ยิน (audition) และการทรงตัว (equilibrium) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## กระบวนการรับความรู้สึก (The Process of Sensation)

ขั้นตอนแรกของการรับความรู้สึก เกิดขึ้นเมื่อตัวรับความรู้สึก (Sensory receptor) ถูกกระตุ้น โดยแขนงหนึ่งของ receptor จะทำหน้าที่รับสัญญาณความรู้สึกจากสิ่งแวดล้อม (Afferent path) แล้วเปลี่ยนเป็นกระแสประสาทส่งสัญญาณไปตามเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neuron) อีกแขนงหนึ่ง (Efferent path) เข้าสู่สมอง (Cerebrum) จากนั้นสมองจะแปลและประมวลผลความรู้สึกที่ได้รับแล้วทำการตอบสนอง โดยพบว่า sensory receptor ชนิดหนึ่งจะทำหน้าที่รับความรู้สึกเพียงชนิดเดียวเท่านั้น โดยสิ่งที่กระตุ้นตัวรับความรู้สึกเรียกว่า “ตัวกระตุ้น” (Stimulus) ซึ่งมีได้หลายรูปแบบ เช่น แสง ความร้อน เสียง การเปลี่ยนแปลงความดัน และสารเคมี เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อมีการกระตุ้นเกิดขึ้น จะทำให้เกิดขั้นตอนต่างๆของการรับความรู้สึก สรุปได้ดังนี้

1. การกระตุ้นตัวรับความรู้สึก (Sensory receptor)
2. เกิดการถ่ายทอดสัญญาณการกระตุ้น
3. เกิดการสร้างกระแสประสาท
4. สัญญาณประสาทถูกถ่ายทอดเข้าสู้ระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system; CNS)
5. ระบบประสาทส่วนกลางแปลผลความรู้สึก
6. ร่างกายตอบสนองในรูปแบบต่างๆ

## ระบบการรับความรู้สึกชนิดพิเศษ (special sensory system)

ระบบการรับความรู้สึกชนิดพิเศษมีลักษณะที่แตกต่างจากระบบการรับความรู้สึกทั่วไป ไม่เพียงแต่มีปลายประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve ending) ที่ถูกออกแบบเป็นโครงสร้างพิเศษเพื่อการรับความรู้สึกเท่านั้น

(receptors) หากแต่ยังมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่า มีลักษณะเฉพาะของการรับแต่ละชนิด และมักฝังอยู่ในเนื้อเยื่อตามตำแหน่งต่างๆของร่างกาย โดยสามารถจัดเป็นอวัยวะรับสัมผัส (sense organs) ที่จำเพาะได้ ได้แก่ จมูก ลิ้น ตา และหู

## จมูกและการรับกลิ่น
## (Olfactory sense)

อวัยวะที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับกลิ่นคือ จมูก (nose) บริเวณที่ทำหน้าที่นี้อยู่ที่ผิวภายในโพรงจมูกส่วนบนค่อนไปทางด้านหลัง (superior nasal concha) เรียกว่า Olfactory region โดยจะมีเยื่อบุผิวโพรงจมูกเป็นแผ่นเล็กๆ เรียกว่า Olfactory epithelium ประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทรับกลิ่น (Olfactory cells) ฝังตัวอยู่

Olfactory cells ประกอบด้วย bipolar neurons และ sustentacular cells ทำหน้าที่ค้ำจุนเซลล์ประสาทรับกลิ่น นอกจากนั้นยังมีต่อมที่ผลิตน้ำหล่อหรือเมือกให้เยื่อบุผิวชุ่มชื้นและทำให้สารที่มีกลิ่นละลายลงไปสัมผัสกับเซลล์รับกลิ่นได้ เซลล์รับกลิ่นมีแขนงปลาย (peripheral processes) มาสิ้นสุดที่เยื่อบุโพรงจมูกทำหน้าที่รับกลิ่น ส่วนแขนงกลาง (central processes) จะรวมกันเป็นเส้นประสาทรับกลิ่น (Olfactory nerve หรือ $1^{st}$ cranial nerve) โดย Olfactory nerve จะเข้าสู่ anterior cranial fossa ของโพรงกะโหลกศีรษะโดยผ่านทาง cribriform plate ของกระดูกศีรษะส่วน ethmoid ไปติดต่อกับเซลล์ใน Olfactory bulb และต่อไปยัง Olfactory tract โดยจะเรียวลงเป็นแถบยาวเข้าสู่สมองส่วนที่เป็นศูนย์ควบคุมซึ่งอยู่บริเวณสมองส่วนหน้าของขมับ (Temporal lobe)

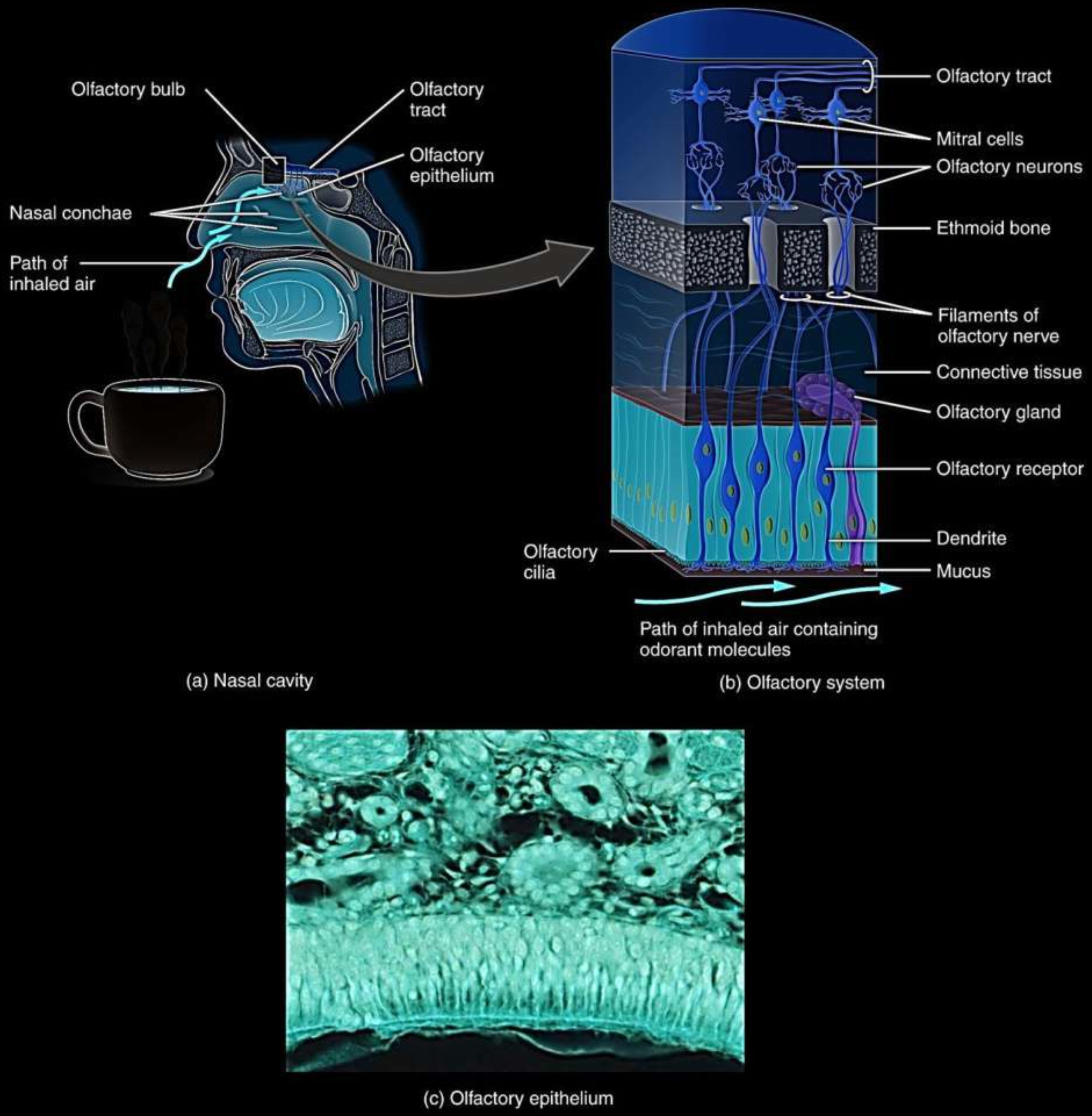
ส่วนที่ทำหน้าที่รับกลิ่น คือ Uncus กับ amygdala ของ temporal lobe, septal area และ limen insulae ของ insula cortex รวมทั้ง anterior perforating substance ที่อยู่ใต้ frontal lobe ด้วย บริเวณของสมองที่รับกลิ่นนี้จะอยู่รอบๆ ฐานของ Olfactory tract นั่นเอง จากบริเวณที่รับกลิ่นนี้จะมีวิถีเส้นประสาทส่งไปยังสมองส่วนอื่นๆ เพื่อแสดงพฤติกรรมตอบสนองต่อกลิ่นที่ได้รับนั้นต่อไป

ลักษณะของสารที่มากระตุ้นต่อการรับกลิ่น ต้องเป็นสารที่ระเหยได้หรือละลายน้ำได้เท่านั้นจึงจะสามารถกระตุ้น receptors ของการรับกลิ่นได้ เช่น สารระเหยต่างๆ (Volatile substance) เพื่อที่จะสูดเข้าไปสู่โพรงจมูก นอกจากนั้น Olfactory receptors ที่ต่างชนิดกัน จะมีความสามารถในการรับรู้และจดจำกลิ่นได้แตกต่างกันออกไปอีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น ammonia ซึ่งเป็นสารระคายเคือง (irritating substance) ชนิดหนึ่ง จะกระตุ้นความรู้สึกเจ็บของปลายประสาทสมองเส้นที่ 5 (trigeminal nerve) ทำให้เกิดอาการแสบจมูก พร้อมๆ กับการกระตุ้น Olfactory cells ทำให้เกิดกลิ่นไปพร้อมๆ กัน

Receptors ที่จมูกจะรับรู้เกี่ยวกับสารเคมีโดยฝังตัวอยู่ที่เยื่อบุผิวภายในช่องจมูก (Olfactory epithelium) โดยจะประกอบไปด้วยเซลล์ 3 ชนิด คือ

1. เซลล์รับกลิ่น (Olfactory receptor cells) ซึ่งเป็นเซลล์ประสาท 2 ขั้ว (bipolar neurons)
2. เซลล์ sustentacular cells หรือ supporting cells ทำหน้าที่สร้างเมือกร่วมกับต่อมภายในโพรงจมูก (Olfactory gland) เพื่อทำให้เกิดความชุ่มชื้น และเป็นตัวทำละลายสารเคมี
3. อีกชนิดหนึ่งเป็นเซลล์ขนาดเล็กเรียกว่า basal cells ทำหน้าที่แบ่งเซลล์ กำเนิดเซลล์รับกลิ่น และเซลล์ sustentacular cells เดิมที่ตายไป

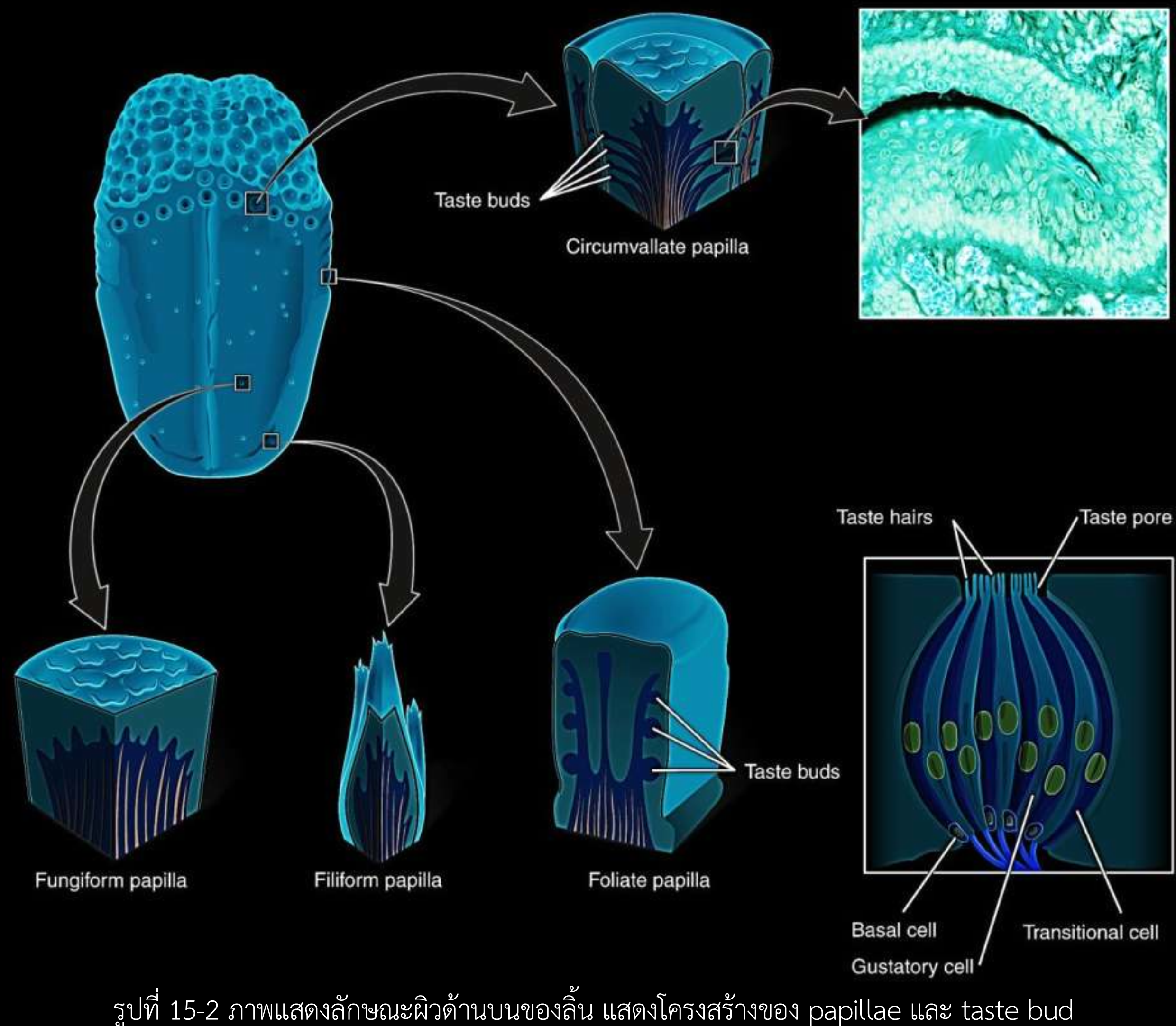
บริเวณส่วนปลายของเซลล์รับกลิ่นจะมีขนยื่นเข้าไปในชั้นเมือกที่เคลือบอยู่ในช่องจมูก และมีแอกซอนของเซลล์รับกลิ่น (เซลล์ประสาทที่ไม่มีไมอิลินหุ้ม) จะผ่านไปที่ basal lamina และรวมกลุ่มกันเป็นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 (Olfactory nerve) ทอดผ่านไปยัง Olfactory bulb, Olfactory tract เข้าสู่ Olfactory cortex ที่ชั้น temporal ของ cerebrum




รูปที่ 15-1 ภาพ (a) แสดงโครงสร้างระบบรับกลิ่นของโพรงจมูก (b) แสดงเซลล์ประสาทรับกลิ่น (Olfactory receptor neuron) ที่ตำแหน่ง olfactory epithelium (c) ภาพแสดง Axons ของ olfactory receptor ที่ synapse กับ neurons ของ olfactory bulb บน cribriform plate ของ ethmoid bone

## ลิ้นและการรับรส
## (Taste or Gustatory sense)

อวัยวะที่ทำหน้าเกี่ยวกับการรับรสคือ ลิ้น ตรงบริเวณพื้นผิวของลิ้นจะมี Mucous membrane ที่ยื่นนูนเป็นปุ่มขึ้นมา เรียกว่าปุ่มรับรส (papillae) โดยรสชาติของอาหารรับรู้ได้จากโครงสร้างรับสัมผัส (receptor) ที่อยู่ด้านข้างของปุ่ม papillae ซึ่งมี 3 ชนิดคือ Fungiform papillae จะพบอยู่บริเวณปลายลิ้น, Filiform papillae พบบริเวณค่อนมาทางด้านหน้าของลิ้น และ Vallate papillae จะเรียงตัวเป็นรูปตัว V ตรงใกล้ๆ โคนลิ้น และที่บริเวณ papillae นี้จะพบ receptor เฉพาะที่เรียกว่าตุ่มรับรส (taste bud) ยกเว้นที่ Filiform papillae นอกจากนั้น taste bud ยังอาจพบที่ soft palate, pharynx และ epiglottis ได้ ใน papillae หนึ่งอันมี taste bud อยู่ประมาณ 250 อัน เป็น receptor สำหรับรับรส ซึ่งประกอบด้วยเซลล์บุผิวจำนวนมากมารวมกันและเปลี่ยนรูปเป็น taste bud เซลล์เหล่านี้มีช่วงอายุเพียง 10 วัน และจะถูกสร้างทดแทนขึ้นใหม่อยู่เรื่อย ๆ ดังนั้นจึงมีทั้งเซลล์ที่ยังอ่อนอยู่และบางเซลล์ที่เป็นเซลล์แก่ เซลล์ที่สร้างใหม่จะอยู่บนผิวหน้า แล้วจึงค่อยๆ เปลี่ยนแปลงเคลื่อนที่เข้าไปภายใน เซลล์ที่แก่แล้วจะอยู่บริเวณศูนย์กลางของต่อม




รูปที่ 15-2 ภาพแสดงลักษณะผิวด้านบนของลิ้น แสดงโครงสร้างของ papillae และ taste bud

Taste bud มีลักษณะคล้ายหัวหอม พบเซลล์รูปกระสวยเรียงกันแน่นอยู่ภายใน โครงสร้างของตุ่มรับรสแต่ละอันประกอบด้วยเซลล์รับรส (taste cells หรือ gustatory cells) ประมาณ 25 เซลล์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากเยื่อบุผิว อยู่กันเป็นกลุ่มและมีเซลล์ค้ำจุน (sustentacular cells) ทำหน้าที่สร้างเซลล์รับรสใหม่แทนเซลล์เดิมที่ถูกทำลายไป และมีขนรับรส (taste hair) ยื่นออกไปตรงช่องของตุ่มรับรส (taste pore) เปิดสู่พื้นผิวของ papillae ซึ่งจะเป็นบริเวณที่รับสารละลายจากภายนอกให้มาสัมผัสกับ taste cells เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับสารเคมี บริเวณฐานของ taste bud จะมีใยประสาท (nerve fibers) แทรกตัวอยู่ตรงกลางระหว่างเซลล์ ตุ่มรับรสบนลิ้นจะทำหน้าที่รับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากสารเคมี ซึ่งจะทำให้เกิดรส 4 ประเภทคือ เปรี้ยว (sour), หวาน (sweet), เค็ม (salty), ขม (bitter) และในปัจจุบันรสชาติที่ 5 ถูกเรียกว่า umami ซึ่งมีตัวรับกลูตาเมตแยกเฉพาะออกไปจากรสชาติอื่นๆ ตำแหน่งส่วนใหญ่ของ taste bud พบที่บริเวณด้านหน้าและด้านข้างของลิ้น ที่ข้างบนของต่อมทอนซิลและรอบๆ Nasopharynx โดยทั่วไปการรับรสต่างๆที่ลิ้นมีความแตกต่างกัน รสเปรี้ยวอยู่ด้านข้างของลิ้นสองข้าง รสหวานรับรสได้ดีที่ปลายลิ้น รสเค็มอยู่ด้านข้างค่อนไปทางปลายลิ้นทั้งสองข้าง และรสขมอยู่กลางโคนลิ้น

เมื่อมีสารเคมีซึ่งอยู่ในสภาพสารละลาย มากระตุ้น taste hair และเข้าสู่ taste pore ซึ่งจะทำหน้าที่กระตุ้นทางเคมี เพราะการรับรสต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่อ Taste bud จากนั้นจะเกิดกระแสประสาทจากลิ้นส่งไปตามเส้นประสาทสมองคู่ที่ VII, IX และ X ตามตำแหน่งของ taste bud นั้นๆ คือ บริเวณตัวลิ้น (body of tongue) จะรับรสโดย facial nerve (VII), บริเวณโคนลิ้น (root of tongue) จะรับรสโดย glossopharyngeal nerve (IX) และบริเวณ epiglottis จะรับรสโดย vagus nerve (X) ไปสิ้นสุดที่เมดัลลาออบลองกาตา โดยมีปลายของแอกซอนไปที่สมองสวนทาลามัส และศูนย์รับรู้เกี่ยวกับรสที่ parietal lobe ของ cerebral cortex จากนั้นสัญญาณประสาทของการรับรสจะถูกส่งไปแปลผลที่ Insular cortex เป็นรสชาติต่างๆต่อไป ซึ่งการรับรสและการได้รับกลิ่นจะทำให้เกิดความหลากหลายของการรับความรู้สึก

## ตาและการมองเห็นภาพ
## (Visual sensation or Vision)

อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นคือ ตา (eye) ซึ่งมีลักษณะกลม ประกอบด้วยลูกตา (eyeball) บรรจุอยู่ภายในเบ้าตา มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันยึดไว้อย่างหลวมๆ ประสาทตา (Optic nerve) เป็นประสาทของการมองเห็นในสมอง อวัยวะที่ช่วยป้องกันตาและเคลื่อนไหว ได้แก่ หนังตา ขนตา เยื่อบุตา (conjunctiva) และกล้ามเนื้อของลูกตา เป็นต้น

**ส่วนประกอบของดวงตา**

ลูกตาตั้งอยู่ในกระบอกตา มีหนังตาทำหน้าที่ป้องกันลูกตา มีขนตาป้องกันฝุ่นละออง ขนคิ้วป้องกันเหงื่อและแสงที่จ้าเกินไป มีต่อมสร้างน้ำหล่อเลี้ยงกระจกตาและป้องกันเชื้อโรค ดวงตาแต่ละข้างมีกล้ามเนื้อ 6 มัดช่วยกันทำให้ตาเคลื่อนไหว กลอกไปมาได้ ลูกตาประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นคือ ชั้นนอก (Supporting layer) ชั้นกลาง (Vascular layer) และชั้นในสุด (Retinal layer)

1. ชั้นนอกสุดของลูกตา เป็น Fibrous coat แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

1.1 Sclera หรือตาขาว เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสีขาวลักษณะทึบแสง หนา ทำให้ลูกตาคงรูปร่างอยู่ได้ด้านหลังมีช่องให้เส้นประสาทออพติก (optic nerve) ผ่านเข้าออก

1.2 ด้านหน้าสุดเป็นกระจกตา (Cornea) ลักษณะใส โปร่งแสง เป็นส่วนเยื่อที่คลุมส่วนดำของลูกตา ไม่มีหลอดเลือดมาเลี้ยง ทำหน้าที่ให้แสงผ่านเข้าไปในลูกตาได้

2. ชั้นกลางเป็น vascular coat มีลักษณะบาง สำหรับให้เส้นเลือดและเส้นประสาทที่ตาทอดผ่านได้ ประกอบด้วย

2.1 Choroid เป็นผนังบางอยู่ถัดจาก Sclera มีเส้นเลือดและเส้นประสาทมาเลี้ยงเป็นจำนวนมากและมีชั้นรงควัตถุ หรือเซลล์สี (pigment cells) ทำหน้าที่ดูดแสงที่ผ่านจากเรตินา เพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของแสงเข้าสู่เรตินาซึ่งจะทำให้ภาพไม่ชัด

2.2 ส่วนที่อยู่ทางด้านหน้าจะหนาตัวเป็น ciliary body อยู่ใต้ขอบของ cornea ทำหน้าที่ผลิตของเหลวเรียก aqueous humer เข้าไปอยู่ในช่องว่างของลูกตาด้านหน้าเลนส์ (anterior chamber) ประกอบด้วย ciliary process และ ciliary muscle โดย ciliary process จะมีลักษณะเป็นสันขึ้นมา แผ่เป็นรัศมีออกไปยังขอบนอกของม่านตา (Iris) เป็นที่อยู่ของเส้นเลือดและเป็นที่ยึดเกาะของเอ็น (suspensory ligament) ส่วน ciliary muscle เป็นกล้ามเนื้อเรียบ มีเอ็นยึดเลนส์ตาควบคุมการโป่งนูนของเลนส์ (Lens) เพื่อให้เห็นภาพในระยะต่างๆ ได้ชัดเจนขึ้น

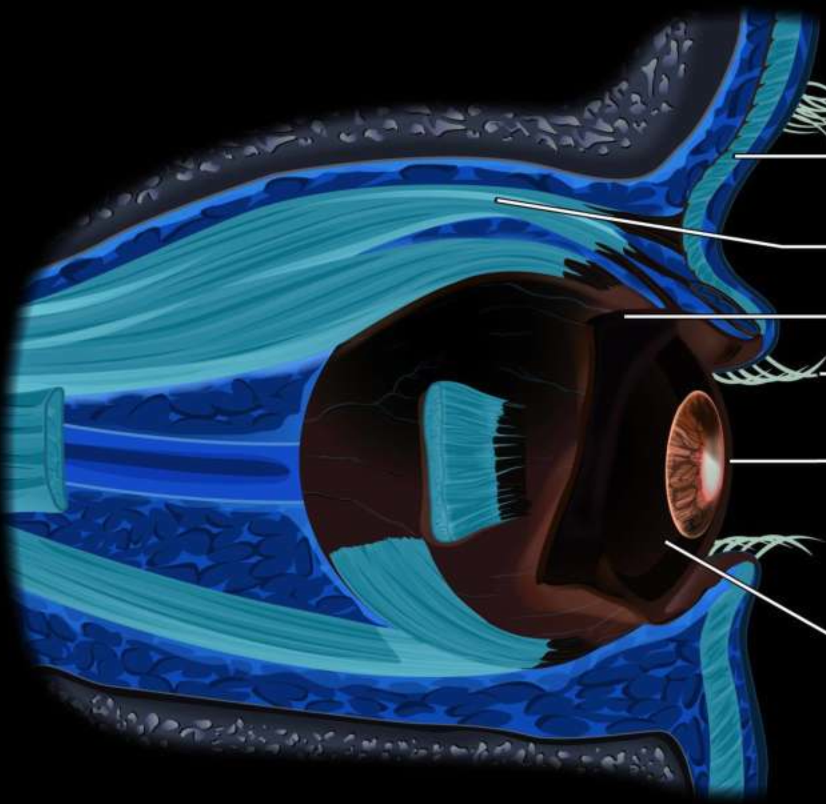
2.3 Iris หรือม่านตา อยู่หน้าเลนส์ หลัง cornea ช่องระหว่างขอบของม่านตาเรียกว่ารูม่านตา (pupil) ทำหน้าที่ปรับขนาดของรูม่านตา ช่วยควบคุมปริมาณแสงที่จะเข้าสู่ลูกตา ม่านตาถูกยึดด้วยกล้ามเนื้อ 2 ชนิด คือ sphincter muscle ควบคุมโดย parasympathetic ทำหน้าที่ดึงรูม่านตาให้หดเล็กลง และ dilator muscle ควบคุมโดยประสาท sympathetic ทำหน้าที่เปิดรูม่านตาให้ขยายกว้างออก เมื่อมีแสงเข้าน้อย ซึ่งกลไกการทำงานของการขยายหรือหดรูม่านตาต้องอาศัย reflex ที่เรียกว่า Light reflex ร่วมกับการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ

สีของตาขึ้นอยู่กับ pigment cells ในม่านตาด้วย ถ้ามีเซลล์สีอยู่น้อย ตาจะมีสีฟ้า ถ้ามีเซลล์สีอยู่มากขึ้น ตาจะเป็นสีเทา น้ำตาลหรือดำ

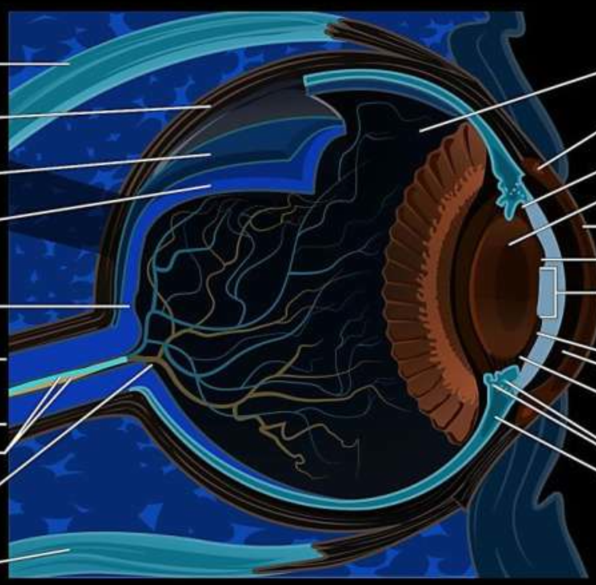
3. ส่วนที่อยู่ชั้นในสุดของลูกตา คือ Nervous coat หรือ Retina เป็นจอรับภาพที่ไวต่อแสง แผ่อยู่ด้านหลังของลูกตา ทำหน้าที่เป็น light receptor บริเวณที่บางเป็นชั้นรงควัตถุป้องกันการสะท้อนของแสงจากด้านหลังของเรตินา ส่วนบริเวณที่หนามีเนื้อเยื่อประสาท neuroretina ซึ่งติดต่อกับเส้นประสาทออพติก บริเวณ neuroretina มีเซลล์ประสาทรับรู้เกี่ยวกับแสงสี 2 ชนิด คือ เซลล์รูปแท่ง (Rod cell) และเซลล์รูปกรวย (Cone cell)

Rod cells เป็นรูปยาวทรงกระบอก มีความไวต่อแสงประกอบด้วยสีที่เรียกว่า rhodopsin หรือ visual purple เป็นตัวรับรู้ เมื่อนัยน์ตาอยู่ในที่มืดสลัว ส่วน Cone cells เป็นรูปกระสวย มีหน้าที่ในการจำแนกสีต่างๆได้ดี เมื่อถูกเร้า เซลล์ประสาททั้งสองชนิดนี้ จะส่งคลื่นประสาทผ่านเซลล์ประสาทในชั้นต่างๆ ของ retina ไปยัง optic nerve ซึ่งทอดทะลุไปสู่ Cerebral cortex

ด้านในสุดของชั้นเรตินาจะสัมผัสกับ vitreous humor ซึ่งเป็นของเหลวที่บรรจุอยู่ภายใน posterior chamber ช่วยให้ลูกตาคงรูปร่าง และช่วยในการหักเหของแสง ถ้าแสงตกลงที่ Fovea centralis ซึ่งเป็นบริเวณที่มีเซลล์รูปกรวยจำนวนมากจะทำให้ได้รับภาพที่คมชัดที่สุด แต่ถ้าแสงไปตกบริเวณ optic disc ซึ่งเป็นทางออกของเส้นประสาทออพติกและแขนงเส้นเลือดที่ทะลุเข้าสู่นัยน์ตา บริเวณนี้มีเฉพาะเส้นใยประสาทเท่านั้น ไม่มีทั้งเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวยอยู่เลย จึงไม่สามารถเห็นภาพที่ตกบริเวณนี้ เรียกบริเวณนี้ว่าจุดบอด (Blind spot)




รูปที่ 15-3 ภาพแสดงโครงสร้างประกอบภายนอกของตา




รูปที่ 15-4 ภาพแสดงโครงสร้างประกอบภายในของตา

**อวัยวะที่ช่วยป้องกันลูกตาและการเคลื่อนไหวของลูกตา**

ตาเป็นอวัยวะที่มีความสำคัญและอาจได้รับอันตรายได้ง่าย จึงจำเป็นต้องมีกลไกในการป้องกันอันตราย โดยมีหนังตา (eyelids) คอยปิดเปิด ซึ่งเป็นการกระทำโดยปฏิกิริยารีเฟล็กซ์ที่เรียกว่า Protective reflex เพื่อป้องกันตัวกระตุ้นที่อาจทำหรือกำลังจะมาทำอันตราย เช่น แสงที่มีความเข้มมาก หรือวัตถุที่เคลื่อนไหวเร็วเข้ามาใกล้ การกระพริบตายังเกิดขึ้นได้เองตลอดเวลา เพื่อเป็นการทำความสะอาดตาดำ โดยมีน้ำจากต่อมน้ำตา (Lacrimal gland) มาช่วยชะล้างทำความสะอาด นอกจากนั้นยังมี Lysozyme ซึ่งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย

**การเคลื่อนไหวของลูกตา**

ลูกตามีกล้ามเนื้อ เพื่อทำให้เคลื่อนไหวได้ข้างละ 6 มัด ซึ่งแต่ละมัดจะทำหน้าที่เพื่อดึงลูกตาให้หันไปในทิศทางต่างๆ โดยกล้ามเนื้อทั้ง 6 มัดนี้จะต้องทำงานร่วมกันเป็นอย่างดีจึงจะสามารถทำให้ลูกตาเคลื่อนไหว เพื่อตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นได้อย่างเหมาะสม

กล้ามเนื้อตาทั้ง 6 มัดแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ดึงตามแนวตรง และอีกพวกหนึ่งดึงตามแนวทแยงมุม ประกอบด้วย

1. Superior rectus กลอกตาขึ้นบนและเอียงไปทางหางหัวตา
2. Anterior rectus กลอกตาไปทางหัวตา
3. Posterior rectus ดึงลูกตาให้ชำเลืองไปทางหางตา
4. Inferior rectus กลอกตาลงล่าง
5. Superior oblique กลอกลูกตามองลงล่างและไปทางหางตา
6. Inferior oblique กลอกลูกตาขึ้นด้านบนและไปทางหางตา

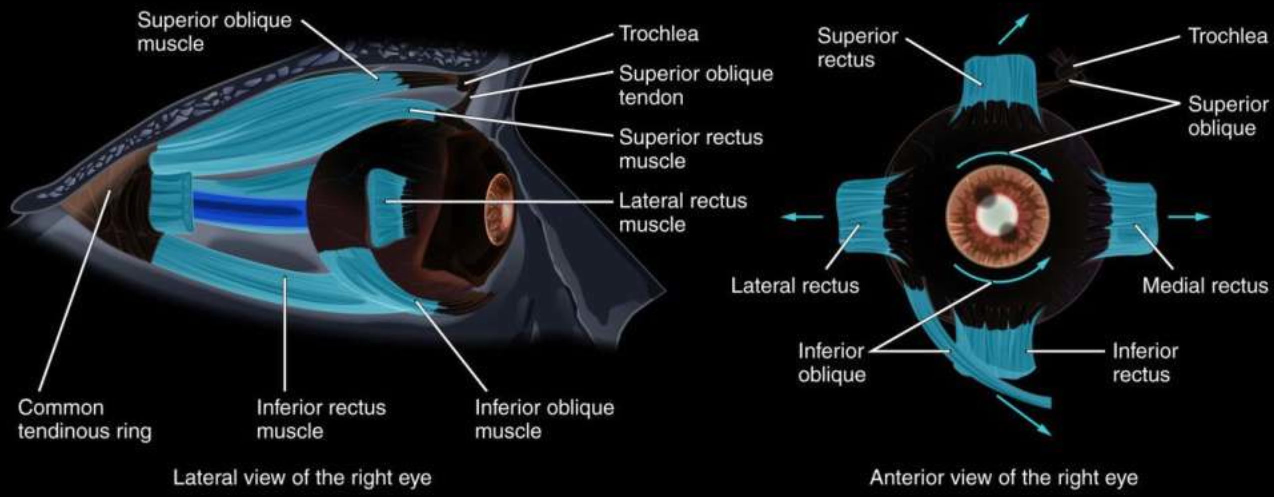



**Figure 5** ภาพแสดงกล้ามเนื้อตา

**ส่วนที่ช่วยในการหักเหของแสง**

ก่อนที่แสงจะเดินทางถึงจอตา (Retina) จะต้องผ่านสิ่งต่างๆ ดังนี้ คือ

1. Aqueous humor มีลักษณะเป็นน้ำใสๆ บรรจุอยู่ในส่วนของ aqueous chamber ซึ่งเป็นช่องอยู่ระหว่าง cornea และเลนส์ กับ suspensory ligament และ ciliary body ช่องนี้ถูกแบ่งโดย Iris เป็น anterior chamber และ Posterior chamber

2. Lens และแก้วตา มีลักษณะเป็นก้อนใส ผนังนูนโค้งทั้งสองด้าน อยู่ด้านหลังของลูกตาดำ มี Elastic capsule หุ้มอยู่ติดกับปลายหนึ่งของ Suspensory ligament ส่วนอีกปลายหนึ่งยึดติดกับ Ciliary body โดยประโยชน์ของเลนส์ คือช่วยให้แสงหักเหและรวมเป็นจุดเดียวกันทำให้เห็นภาพชัดบน Retina

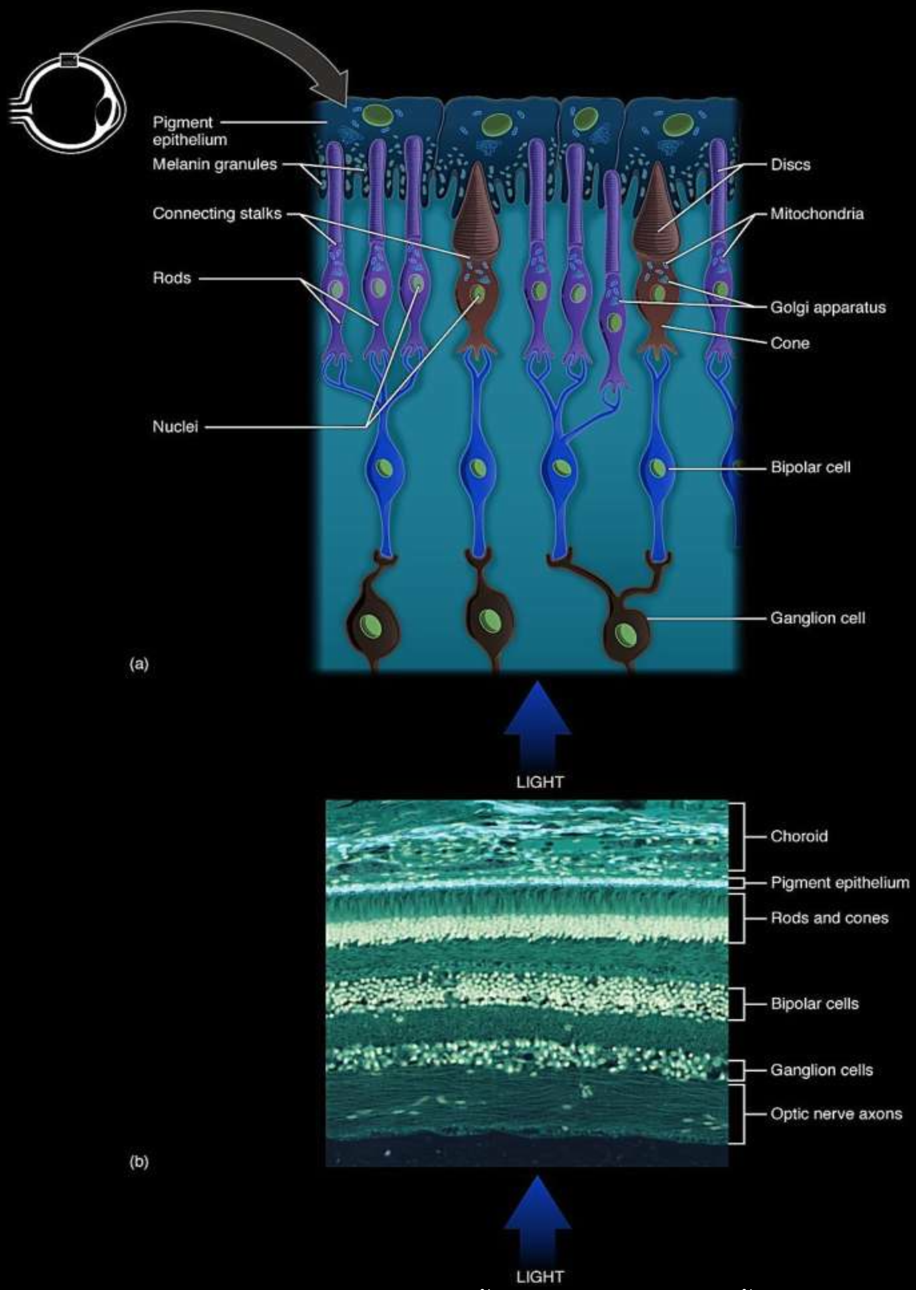
3. Vitreous body เป็นน้ำเมือกใสคล้ายไข่ขาว อยู่ภายในช่องส่วนหลังของลูกตาทางด้านหลังเลนส์ มีหน้าที่ช่วยทำให้ลูกตาเป็นรูปทรงกลมอยู่ได้

**กระบวนการของการมองเห็น**

การมองเห็นภาพ เริ่มจากเมื่อแสงผ่านเข้าสู่ลูกตา แสงจะผ่านทางส่วนของกระจกตา (Cornea), aqueous humor, pupil, lens และ vitreous body ตามลำดับ โดยเมื่อแสงจากวัตถุผ่านกระจกตาจะทำให้เกิดการหักเหครั้งแรก และเมื่อไปกระทบเลนส์ตาจะเกิดการหักเหครั้งที่สองไปตกลงที่ retina ตรงบริเวณที่มี rod cells และ cone cells โดยที่ rod cells จะมีรงควัตถุรับแสงที่ประกอบขึ้นจากวิตามินเอ (retinal) แสงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและเกิดการส่งกระแสประสาท ผ่านทาง optic nerve ไปยัง visual center ซึ่งอยู่ในสมองบริเวณ Occipital lobe จากนั้นสมองจะแปล impulse นั้น ออกมาในรูปของการมองเห็น ซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ แสงสว่าง สี และรูปร่าง

ในภาวะที่ไม่มีแสง วิตามินเอซึ่งอยู่ในรูป cis จะจับกับโปรตีน Opsin กลายเป็น Rhodopsin เมื่อมีแสงเข้ามาวิตามินเอจะเปลี่ยนรูปจาก cis เป็น trans และแยกออกจาก Opsin โดย Opsin ที่ถูกกระตุ้นให้แยกออกมานี้จะไปเหนี่ยวนำให้ระดับแคลเซียมใน rod cells สูงขึ้น และทำให้ cGMP (Cyclic guanosine monophosphate) ต่ำลง ส่งผลทำให้ช่องโซเดียมปิด หยุดการส่งสัญญาณของ rod cells ลง (ในภาวะที่ไม่มีแสงช่องโซเดียมจะเปิดออก ยอมให้โซเดียมจากภายนอกไหลเข้าเซลล์เกิด depolarization ภายในเซลล์ส่งสัญญาณเหนี่ยวนำให้ปลายประสาทส่งสารสื่อประสาทประเภท IPSP (inhibitory postsynaptic potential) ทำให้เซลล์ประสาทตัวถัดไปเกิด hyperpolarization และไม่มีการส่งสัญญาณต่อไปยังสมอง)

ในการมองวัตถุในระยะทางต่างๆกัน ในความมืดหรือสว่างต่างกัน เมื่อเริ่มมองในช่วงแรกนั้น การมองเห็นภาพจะยังไม่ค่อยชัดเจน ในระยะต่อมานัยน์ตาจะสามารถปรับสภาพ ให้เข้ากับระยะทางของวัตถุหรือแสงสว่างที่มีอยู่ ทำให้ภาพมีความชัดเจนมากขึ้น โดยเป็นการปรับให้ภาพตกบน retina พอดี และทำให้ความเข้มของแสงเข้าสู่ดวงตาได้อย่างพอดี เรียกกระบวนการปรับสถาพการณ์ของตานี้ว่า Accommodation ซึ่งเกิดจากการปรับตัวของเลนส์ ให้เพิ่มหรือลดส่วนโค้ง โดยอาศัย Ciliary muscle เพื่อให้แสงเข้าและเกิดการหักเหได้ตามความต้องการ




รูปที่ 15-6 (a) ภาพแสดงตัวรับแสง photoreceptors (b) เนื้อเยื่อของ retina แสดงชั้น layer ของ rod และ cone cells

**ความผิดปกติของการมองเห็น (Disorders of the Visual system)**

1. Color blindness ตาบอดสี เกิดจากเซลล์รูปกรวยที่รับสีแดง สีเขียว หรือสีน้ำเงินมีความผิดปกติ

2. Night blindness ตาบอดกลางคืน เกิดจากร่างกายขาดวิตามินเอ ทำให้ปริมาณ rhodopsin ในเรตินาต่ำ

3. Myopia สายตาสั้น ส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากกระบอกตายาวเกินไป ในขณะที่ส่วนน้อยเกิดจากการที่ lens และ cornea รวมแสงแล้วไม่ถึง retina ทำให้โฟกัสของแสงตกก่อนถึงเรตินา มองเห็นไม่ชัด แกไขโดยเลนส์เว้า

4. Hypermetropia สายตายาว เกิดเนื่องจากกระบอกตาสั้นกว่าปกติ หรือ lens และ cornea แบน ทำให้โฟกัสของแสงตกยาวเกินเรตินา การแก้ไขต้องใช้เลนส์นูนช่วย เพื่อรวมแสงให้สั้นเข้า

5. Astigmatism สายตาเอียง เป็นภาวะที่มองเห็นภาพไม่ชัดเจน เนื่องจากส่วนโค้งของ cornea หรือ lens ไม่สม่ำเสมอ ทำให้การหักเหของแสงตามแนวต่างๆ ไม่เท่ากัน การแก้ไขทำได้โดยใช้แว่นกาบกล้วยหรือเลนส์ทรงกระบอก (Cylindrical lens) เพื่อทำให้อำนาจการหักเหของแสงทุกแนวเท่ากันได้

6. Cataracts ต้อกระจก เกิดจากการเสื่อมหรือผิดปกติของเลนส์ ทำให้มีความขุ่นมัวของเลนส์มากขึ้น จากการที่โปรตีนองค์ประกอบมีการเปลี่ยนแปลงไป โรคนี้มักพบในผู้สูงอายุ โดยมีสาเหตุมาจากการบาดเจ็บ การได้รับแสง UV มากเกินไป การได้รับสารบางชนิดอย่างต่อเนื่อง เช่น steroid หรือการเป็นโรคบางชนิด เช่น เบาหวาน เป็นต้น สามารถแก้ไขได้โดยการผ่าตัดเพื่อใส่เลนส์ตาเทียม

7. Glaucoma ต้อหิน พบมากในผู้ที่มีอายุมากกว่า 40 ปี สาเหตุเกิดจากการที่มีแรงดันภายในลูกตามากเกินไป โดยเฉพาะในบริเวณ anterior chamber ของช่องลูกตา เกิดแรงดันทำให้เลนส์ตาไปชิดกับ vitreous body ใน vitreous chamber ส่งผลกระทบต่อเซลล์ประสาทในชั้น retina

## หูและการได้ยิน/การทรงตัว
## (Sense of hearing and equilibrium)

อวัยวะเกี่ยวกับการได้ยินและการทรงตัวประกอบด้วยหูและประสาทรับความรู้สึก โดยโครงสร้างของหูประกอบด้วย 3 ส่วนคือ หูชั้นนอก (external ear), หูชั้นกลาง (middle ear) และหูชั้นใน (inner ear)

1. หูชั้นนอกประกอบด้วย

1.1 ใบหู (pinna หรือ auricle) เป็นกระดูกอ่อนยืดหยุ่นได้ ส่วนล่างมีติ่งหูประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและไขมัน เรียกว่า lobule ใบหูมีประโยชน์สำหรับรับและรวบรวมกระแสคลื่นเสียงให้ผ่านเข้าไปในรูหู

1.2 ช่องหูหรือรูหู (auditory canal) มีลักษณะเป็นช่องเข้าไปในกระดูกขมับ (temporal bone) ยาวประมาณ 1 นิ้ว ช่องนี้มีลักษณะคล้ายตัว S มีขนและต่อมขี้หู (Ceruminous glands) ซึ่งเป็นต่อมที่เปลี่ยนแปลงมาจากต่อมเหงื่อ ทำหน้าที่ขับขี้หู (Cerumen or Ear wax) มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง เป็นเครื่องป้องกันสิ่งแปลกปลอมไม่ให้ผ่านเข้าไปในรูหูได้ง่าย

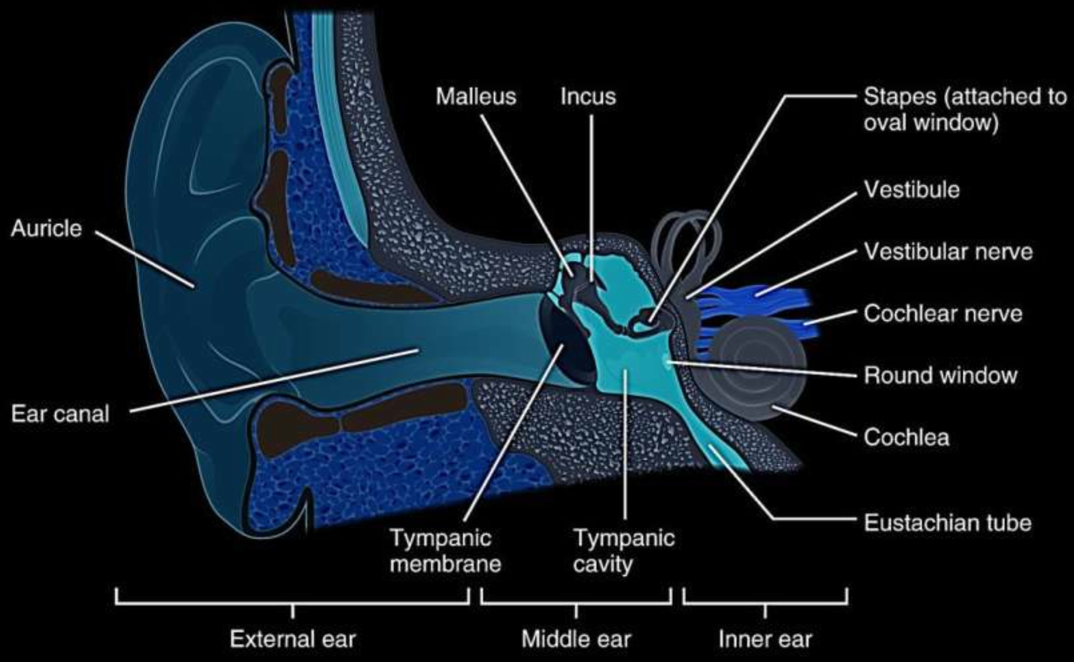
1.3 ระหว่างหูชั้นนอกและหูชั้นกลาง จะมีเยื่อแก้วหู (ear drum หรือ tympanic membrane)

2. หูชั้นกลาง เป็นช่องเล็กๆ เริ่มตั้งแต่เยื่อแก้วหูไปจนถึงหูชั้นใน ภายในช่องหูนี้บุด้วย Mucous membrane ด้านล่างจะมีท่อเล็กๆเป็นส่วนที่ติดต่อกับโพรงจมูกและลำคอบริเวณคอหอยส่วนบน (Nasopharynx) เรียกว่า Eustachian tube เป็นทางสำหรับให้อากาศเข้าและออกจากหูเพื่อปรับให้ความดันภายในช่องหูส่วนกลางเท่ากับความดันของอากาศภายนอก ปกติช่องหูนี้จะปิดอยู่เสมอ นอกจากเวลาหาว จามหรือกลืน ดังนั้นหากมีการอักเสบที่จมูก หรือหลอดคอ อาจลุกลามไปถึงหูชั้นกลางได้

ภายในหูชั้นกลางมีกระดูกเล็กๆ 3 ชิ้น เรียกว่า Ossicles ช่วยในการขยายเสียง ได้แก่ กระดูกค้อน (malleus/hammer), ทั่ง (incus/anvil) และโกลน (stapes/stirrup) โดยที่กระดูกค้อนจะวางติดกับเยื่อแก้วหู กระดูกทั่งอยู่กลาง และกระดูกโกลนจะอยู่ติดต่อกับช่องหน้าต่างเล็กๆ รูปไข่ (oval window หรือ fenestra vestibuli) ซึ่งเชื่อมติดกับหูชั้นใน

3. หูชั้นใน ประกอบด้วยประสาทที่เกี่ยวกับการได้ยินและการทรงตัวของร่างกาย รวมเรียกว่า Labyrinth ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ auditory apparatus ซึ่งได้แก่ cochlea และอีกส่วน คือ vestibular apparatus ได้แก่ semicircular canals, utricle และ saccule ทำหน้าที่เกี่ยวกับการทรงตัวของร่างกาย

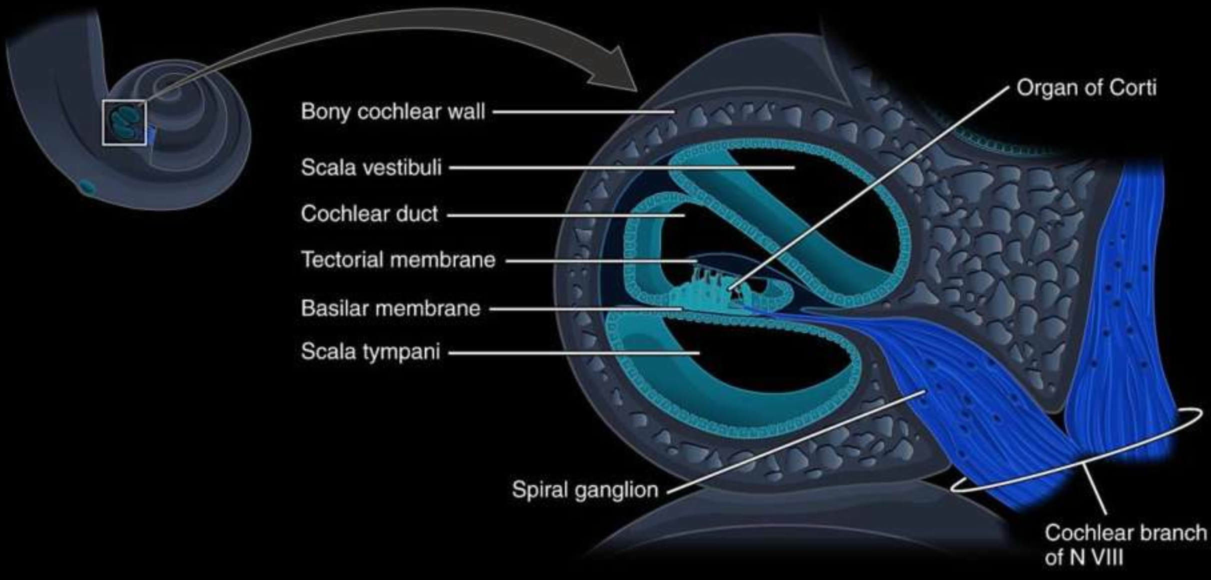
Cochlea มีลักษณะเป็นท่อขดรูปก้นหอย ประกอบด้วย 3 ท่อที่แยกจากกันแต่วางขนานกัน ภายใน Cochlea จะบุด้วย membranous ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อเรียกว่า scala media หรือ Cochlea duct ท่อนี้จะแบ่ง Cochlea ออกเป็น 2 ช่อง คือ ช่องบนเรียกว่า scala vestibuli และช่องล่างเรียกว่า scala tympani ระหว่าง 2 ท่อแรกจะมีเยื่อ Reisser's membrane (Vestibular membrane) กั้นอยู่และระหว่างท่อที่ 2 กับ 3 จะมีเยื่อ basilar membrane กั้นอยู่ ทั้ง 3 ท่อมีของเหลว (endolymph) บรรจุอยู่ภายใน บน basilar membrane นี้มีโครงสร้าง sense organ ของการได้ยินที่เรียกวา Organ of Corti มีลักษณะเป็น Rod shaped cells ซึ่งมีเซลล์ขน (hair cells) จำนวนมากทำหน้าที่รับคลื่นเสียง ด้านบนของ Organ of Corti จะมี tactorial membrane



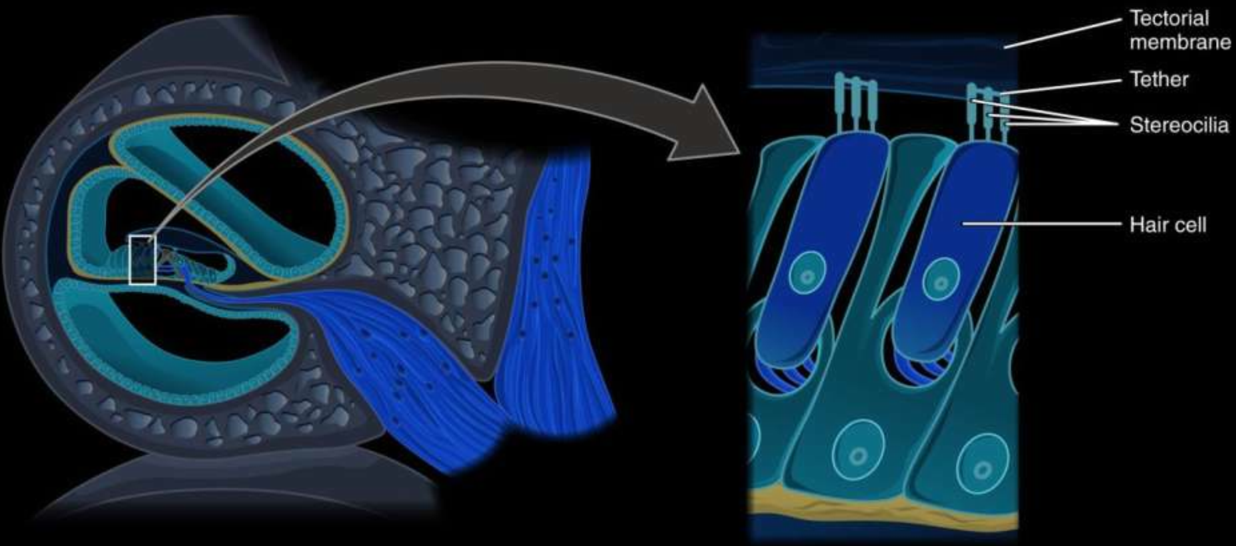

รูปที่ 15-7 ภาพแสดงองค์ประกอบของหูชั้นนอก ชั้นกลางและชั้นใน

**กลไกของการได้ยิน**

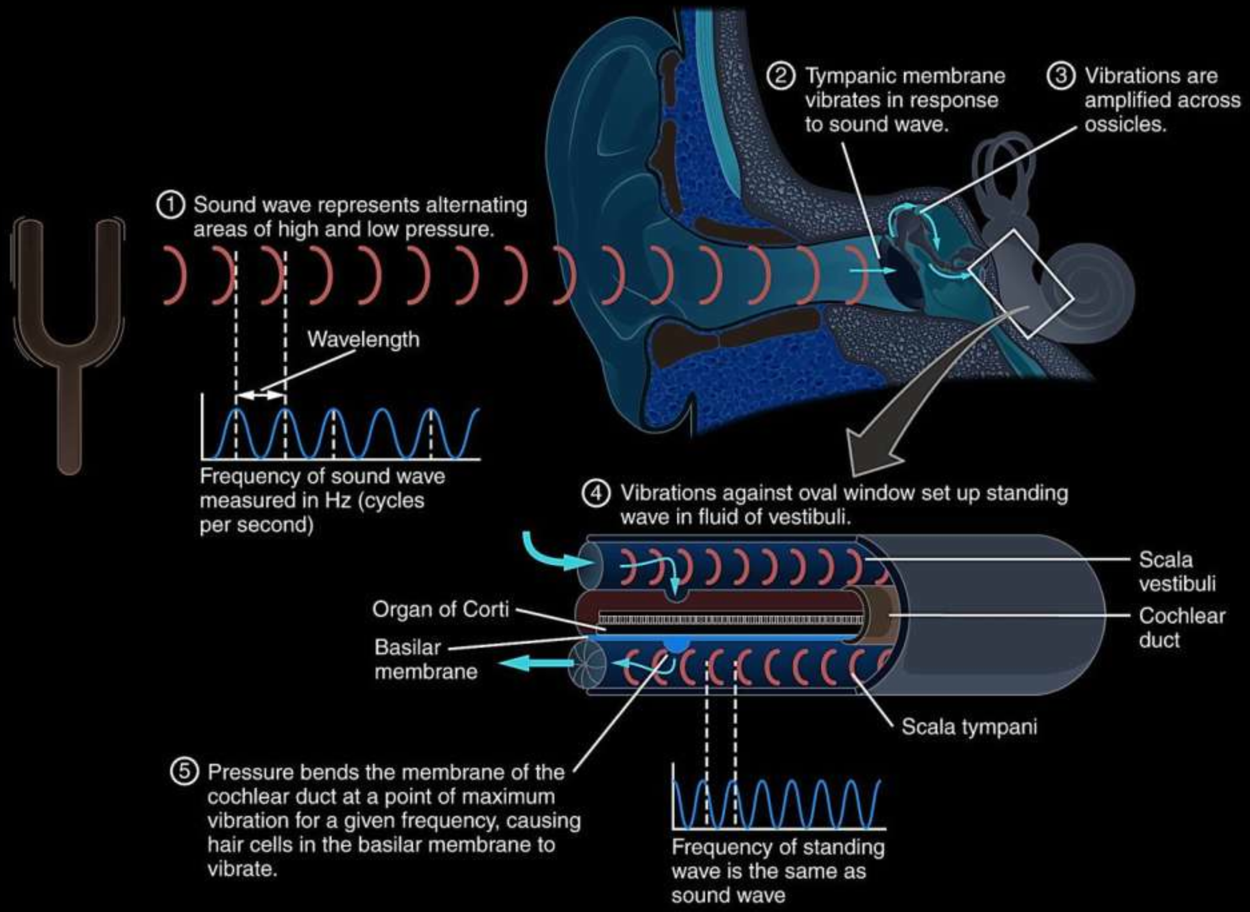
เมื่อคลื่นเสียงผ่านเข้ามาทางใบหู รูหู กระทบกับเยื่อแก้วหู จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (vibration) และไปกระทบกับกระดูกหูทั้ง 3 ชิ้น กระดูกหูจะทำหน้าที่ลดคลื่นเสียงให้น้อยลง แล้วถ่ายคลื่นเสียงไปยัง oval window ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ cochlea สั่นสะเทือน และเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันภายใน scala vestibuli ซึ่งจะสั่นสะเทือนทำให้เกิดคลื่นของเหลว (endolymph) ขึ้นในท่อ scala vestibuli และถูกถ่ายทอดผ่านเยื่อ vestibular membrane เข้าไปใน scala media เกิดการสั่นสะเทือนของ basilar membrane และเกิดการเคลื่อนไหวของ tactorial membrane ทำให้ hair cells ของ Organ of Corti โค้งงอไปมา เกิดการส่งสัญญาณประสาทผ่านไปทาง Cochlear nerve และส่งต่อไปยังประสาทสมองคู่ที่ 8 (Auditory nerve or Acoustic nerve) เข้าสู่สมองส่วน Auditory area




รูปที่ 15-8 ภาพแสดง Cochlea และโครงสร้างของ organ of Corti




รูปที่ 15-9 ภาพแสดง Hair cell




รูปที่ 15-10 ภาพแสดง กลไกของการได้ยิน

**การทรงตัว (Equilibrium)**

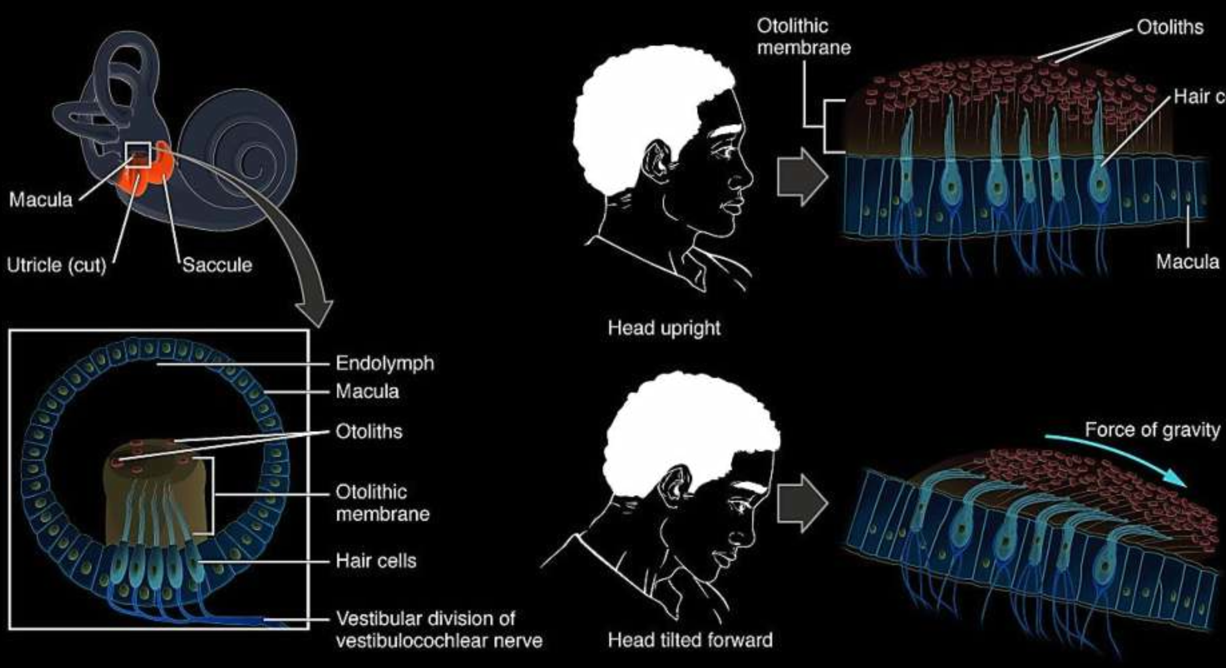
การทรงตัวจะเกี่ยวข้องกับหูชั้นในเพราะมี receptors อยู่ที่บริเวณ Vestibular และ Semicircular canal ที่มี hair cells ติดต่อกับ vestibular nerve และมี endolymph บรรจุอยู่ภายในซึ่งจะไหลไปกระตุ้น Sensory hair cells ทำให้เกิดกระแสประสาทขึ้นไปตาม vestibular nerve เข้าสู่ Acoustic nerve ไปสู่สมองส่วน Cerebellum ทำให้เกิดความรู้สึกเกี่ยวกับการทรงตัวของร่างกาย

โดย Semicircular canal จะทำหน้าที่รับรู้เมื่อมีการเคลื่อนไหวของร่างกาย มีลักษณะเป็นท่อโค้ง กระดูกอ่อนครึ่งวงกลม 3 ท่อ คือ superior semicircular duct, posterior semicircular duct และ lateral semicircular duct วางตัวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ภายในบรรจุ endolymph ปลายข้างหนึ่งของท่อจะพองออกเป็นกระเปาะที่ภายในมีตัวรับความรู้สึกพิเศษเรียกว่า crista ampullaris และมี hair cells ซึ่งจะติดต่อกับเส้นประสาทนำเข้า (afferent nerve fiber) และไปที่ vestibular nerve ซึ่งจะต่อไปยังระบบประสาทส่วนกลาง

utricle และ saccule เป็นถุงเล็กๆ ภายในมีของเหลวข้น เรียกว่า endolymph ที่ผนังด้านในประกอบด้วย hair cells มีเส้นใยประสาท ซึ่งแยกมาจากเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 (Auditory nerve) ไปเลี้ยง มีศูนย์ควบคุมอยู่ที่ด้านข้างของ temporal lobe

utricle และ saccule มีหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมสมดุลในขณะอยู่กับที่ (static equilibrium) ทำให้ศีรษะและร่างกายตั้งตรงได้ขณะอยู่นิ่ง โครงสร้างของ utricle และ saccule ประกอบด้วย macula ซึ่งจะมีเซลล์ขนฝังตัวอยู่ในเยื่อที่มีลักษณะคล้ายวุ้นเรียกว่า Otolithic membrane เหนือเยื่อนี้มีผลึกหินปูน calcium carbonate crystals เรียกว่า statolith หรือ otoconia อยู่เป็นจำนวนมาก ภายใน utricle และ saccule มี endolymph บรรจุ

อยู่ saccule จะถูกกระตุ้นเมื่อมีการเอียงศีรษะ สวน utricle จะถูกกระตุ้นเมื่อมีการก้มหรือเงยศีรษะ โดยที่กระแสประสาทจะถูกส่งเข้าเส้นประสาท vestibular ซึ่งจะไปรวมกับเส้นประสาทจาก cochlea เกิดเป็นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 (Auditory nerve) ไปสู่ก้านสมองและเข้าสู่ cerebellum ซึ่งจะส่งสัญญาณไปยังกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องต่อไป




รูปที่ 15-11 ภาพแสดงกลไกของการทรงตัว

**ความผิดปกติของการได้ยินและการทรงตัว (Disorders of the Hearing and Equilibrium)**

1. Deafness เป็นโรคที่สูญเสียการได้ยิน เกิดจากหลายสาเหตุ เช่น เกิดการทำลายของเซลล์ใน Cochlea หรือเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 เรียกว่า “sensorineural deafness” สาเหตุจากการแข็งตัวของหลอดเลือด (atherosclerosis) ทำให้เซลล์ใน cochlea ได้รับเลือดไปเลี้ยงไม่เพียงพอ นอกจากนี้การได้รับเสียงที่ดังมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการทำลาย hair cells ส่วนการได้รับยาบางชนิด เช่น aspirin หรือ streptomycin ก็สามารถทำให้เกิดการทำลายได้เช่นกัน การสูญเสียการได้ยินอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า “conduction deafness” มีสาเหตุมาจากความผิดปกติของหูชั้นนอกและชั้นกลาง มีผลทำให้การส่งผ่านคลื่นเสียงได้น้อยลงหรือไม่ได้เลย โดยสาเหตุอาจเกิดจากการมีกระดูกงอกปิดบริเวณ oval window เรียกว่า “otosclerosis” นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการที่ขี้หูจับตัวกันแน่นจนเกิดการบาดเจ็บต่อเยื่อแก้วหูหรือความผิดปกติของข้อต่อระหว่างกระดูกหู เป็นต้น

2. Otitis media เป็นโรคที่เกิดจากการติดเชื้อภายในหูชั้นกลาง สาเหตุอาจเกิดจากเชื้อแบคทีเรียที่ลุกลามมาจากจมูกหรือลำคอ คนไข้มักมีอาการเจ็บ อ่อนเพลีย มีไข้ และมีเยื่อแก้วหูเป็นสีแดง ถ้าไม่รักษาเยื่อแก้วหูอาจถูกทำลายได้ นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมากจากเชื้อแบคทีเรียบริเวณคอหอยส่วนจมูก (nasopharynx) ผ่านไปตาม auditory tube เข้าสู่หูชั้นกลางทำให้เกิดการติดเชื้อ (พบในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่เนื่องจากเด็กมี auditory tube ที่สั้น กว้าง และวางตัวในแนวขวางมากกว่าผู้ใหญ่)

****************************************

**เอกสารอ้างอิง**

บังอร ฉางทรัพย์. (2556). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 7).กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
รำแพน พรเทพเกษมสันต์. (2556). *กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์.* (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ:

ศิลปาบรรณาคาร.

วีไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิต และมนตกานต์ ตันสถิต. (2539). *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์.* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เฟื่องฟ้า พรินติ้ง.

Biga, L. M., Dawson, S., Harwell, A., Hopkins, R., Kaufmann, J., LeMaster, M., ... & Runyeon, J. (2020). Anatomy & physiology. OpenStax & Oregon State University.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

-------------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบต่อมไร้ท่อ
(Anatomy and Physiology of Endocrine system)

**จำนวนชั่วโมง** 4 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบต่อมไร้ท่อ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
2. บอกหน้าที่โดยทั่วไปของฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
3. บอกประเภทและคุณสมบัติของฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายกลไกการควบคุมการหลั่งฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายวิธีการขนส่งฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายความผิดปกติของต่อมไร้ท่อได้อย่างถูกต้อง
7. อธิบายบทบาทของไฮโปทาลามัสในการควบคุมระบบต่อมไร้ท่อได้อย่างถูกต้อง
8. อธิบายกายวิภาคของต่อมใต้สมองส่วนหน้าได้อย่างถูกต้อง
9. บอกชื่อฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าได้อย่างถูกต้อง
10. บอกหน้าที่ของฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าได้อย่างถูกต้อง
11. อธิบายกายวิภาคของต่อมใต้สมองส่วนหลังได้อย่างถูกต้อง
12. บอกชื่อฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหลังได้อย่างถูกต้อง
13. บอกหน้าที่ของฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหลังได้อย่างถูกต้อง
14. บอกหน้าที่ของไทรอยด์ฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
15. อธิบายการควบคุมการหลั่งไทรอยด์ฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
16. บอกภาวะความผิดปกติของไทรอยด์ฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
17. บอกหน้าที่ของพาราไทรอยด์ฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
18. บอกภาวะความผิดปกติของพาราไทรอยด์ฮอร์โมนได้อย่างถูกต้อง
19. อธิบายกายวิภาคของต่อมหมวกไตได้อย่างถูกต้อง
20. บอกชื่อและหน้าที่ของต่อมหมวกไตได้อย่างถูกต้อง

21. บอกภาวะความผิดปกติของฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมหมวกไตได้อย่างถูกต้อง
22. บอกหน้าที่ของฮอร์โมนอินสุลินได้อย่างถูกต้อง
23. บอกความผิดปกติในการหลั่งฮอร์โมนอินสุลินได้อย่างถูกต้อง
24. บอกชื่อและหน้าที่ฮอร์โมนสร้างจากต่อมไทมัสได้อย่างถูกต้อง
25. บอกชื่อและหน้าที่ฮอร์โมนสร้างจากต่อมไพนีลได้อย่างถูกต้อง

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 16

**************************************

# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบต่อมไร้ท่อ (Anatomy and Physiology of Endocrine system)

**ตอนที่ 1 บทนำระบบต่อมไร้ท่อ**

1.1 ลักษณะทั่วไปของการทำงานของต่อมไร้ท่อ
1.2 ต่อมในร่างกายมนุษย์
1.3 ชนิดของต่อมไร้ท่อ
1.4 ความหมายของฮอร์โมน
1.5 หน้าที่โดยทั่วไปของฮอร์โมน
1.6 ประเภทและคุณสมบัติของฮอร์โมน
1.7 การควบคุมการหลั่งฮอร์โมน
1.8 การขนส่งฮอร์โมน
1.9 ความผิดปกติของต่อมไร้ท่อ

**ตอนที่ 2 ไฮโปทาลามัส (Hypothalamus)**

2.1 ควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ
2.2 Hypothalamo-pituitary-target endocrine gland axis

**ตอนที่ 3 ต่อมใต้สมอง หรือ ต่อมพิทูอิทารี (Pituitary gland, Hypophysis cerebri)**

3.1 ต่อมใต้สมองส่วนหน้า (Adenohypophysis)
3.2 ต่อมใต้สมองส่วนหลัง (Neurohypophysis)

**ตอนที่ 4 ต่อมไทรอยด์ (Thyroid gland)**

**ตอนที่ 5 ต่อมพาราไทรอยด์ (Parathyroid Glands)**

**ตอนที่ 6 ต่อมหมวกไต (Adrenal Glands, Suprarenal Glands)**

**ตอนที่ 7 ตับอ่อน (Pancreas)**

**ตอนที่ 8 ต่อมไทมัส (Thymus gland)**

**ตอนที่ 9 ต่อมไพนีล (Pineal gland)**

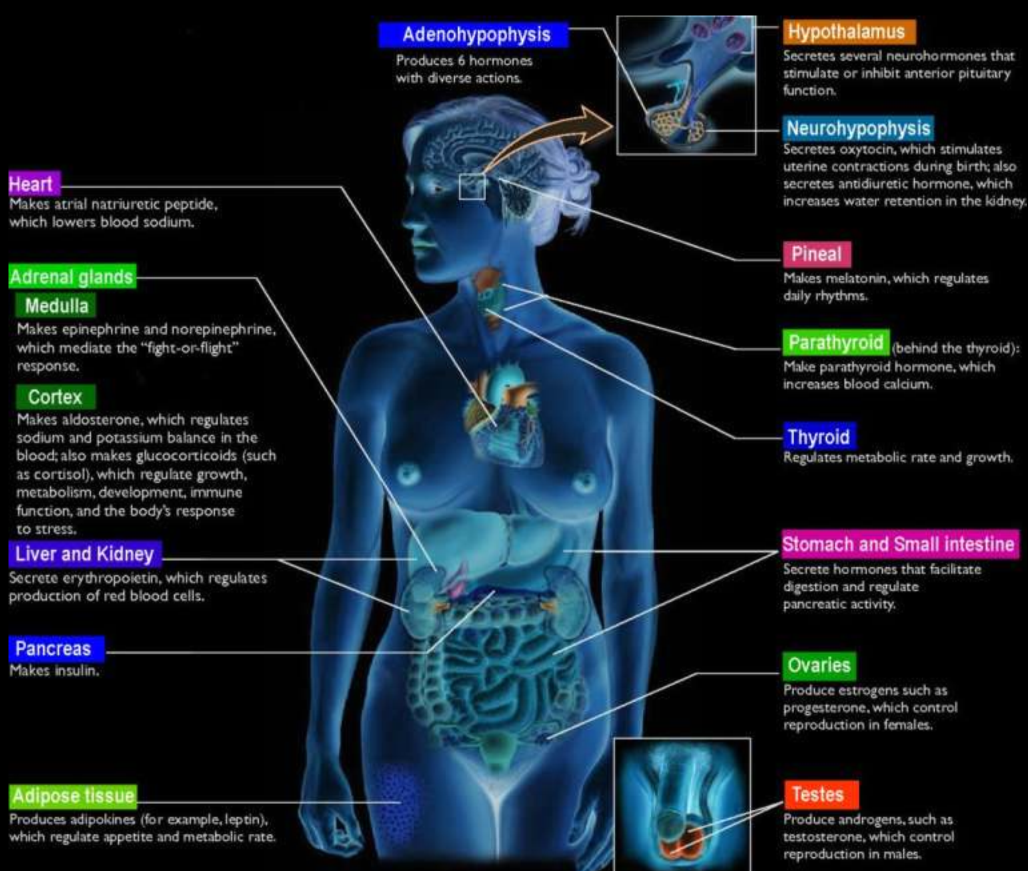
# บทที่ 16
# กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาระบบต่อมไร้ท่อ
# (Anatomy and Physiology of the Endocrine system)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

## ตอนที่ 1
## บทนำระบบต่อมไร้ท่อ

### 1.1 ลักษณะทั่วไปของการทำงานของต่อมไร้ท่อ

ระบบต่างๆ ของร่างกายมีการทำงานเชื่อมโยงประสานกัน เพื่อให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และรักษาสภาวะแวดล้อมภายในให้คงที่อยู่ในสภาวะสมดุล (homeostasis) ร่างกายมนุษย์จึงได้พัฒนาระบบประสานงานของอวัยวะต่างๆ ขึ้นมา 2 ระบบ ได้แก่ ระบบระบบระบบประสาท (nervous system) และระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system)




รูปที่ 16-1 แสดงต่อมไร้ท่อในร่างกายมนุษย์

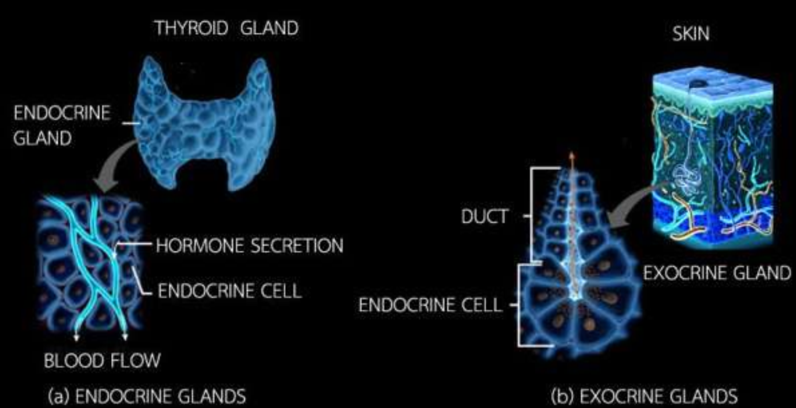
ระบบประสาท มีการส่งข่าวสารไปยังเซลล์เป้าหมายโดยผ่านทางเซลล์และเส้นใยประสาทโดยการหลั่งสารสื่อประสาท มีลักษณะการทำงานที่รวดเร็ว (rapid action) แต่ให้ผลไม่นาน และเป็นการส่งข่าวสารแบบเฉพาะเจาะจง (specific action) ส่วนระบบต่อมไร้ท่อ เป็นระบบสื่อสารภายในร่างกายทำหน้าที่ควบคุมเชื่อมโยงประสานการทำงานของระบบต่างๆ ภายในร่างกายเพื่อดำรงไว้ซึ่งสภาวะภายในให้คงที่ (homeostasis) มีลักษณะการทำงานที่ค่อนข้างช้า แต่มีผลการทำงานอยู่ได้นาน การศึกษาระบบควบคุมที่มีกลไกการทำงานร่วมกันของทั้งระบบประสาทและระบบต่อมไร้ท่อ เรียกว่า **Neuroendocrinology**

### 1.2 ต่อมในร่างกายมนุษย์

ประกอบด้วยต่อม 2 ชนิด ได้แก่ exocrine glands (ต่อมมีท่อ) และ endocrine glands (ต่อมไร้ท่อ)

**1.2.1 Exocrine glands (ต่อมมีท่อ)** หลั่งสารที่สร้างเข้าสู่ท่อ นำไปเปิดเข้าสู่ช่องโพรงภายในร่างกาย หรือหลั่งออกสู่ภายนอก เช่น ต่อมเหงื่อ (sweat glands) ต่อมไขมัน (sebaceous glands) ต่อมหลั่งมูก (mucous glands) และต่อมในระบบย่อยอาหาร (digestive glands)

**1.2.2 Endocrine glands (ต่อมไร้ท่อ)** ต่อมประกอบด้วยเซลล์หรือกลุ่มเซลล์ สามารถสร้างและหลั่งฮอร์โมนเข้าสู่ช่องว่างนอกเซลล์ ก่อนแพร่เข้าสู่ระบบไหลเวียน แล้วไปยังอวัยวะเป้าหมายทั่วร่างกาย




รูปที่ 16-2 แสดงความแตกต่างของต่อม (a) ต่อมไร้ท่อ : การหลั่งไทรอยด์ฮอร์โมนเข้าสู่กระแสลือด และ (b) ต่อมมีท่อ : การหลั่งเหงื่อจากต่อมเหงื่อออกสู่ผิวหนัง

### 1.3 ชนิดของต่อมไร้ท่อ

โดยทั่วไป ต่อมไร้ท่อแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

**1.3.1 ชนิดที่เป็นต่อมไร้ท่ออยู่เดี่ยวๆ** ได้แก่ ต่อมใต้สมอง (Pituitary gland) ต่อมไทรอยด์ (Thyroid gland) ต่อมพาราไทรอยด์ (Parathyroid gland) ต่อมหมวกไต (Suprarenal หรือ Adrenal gland) ต่อมไพนีล (Pineal gland) และต่อมไทมัส (Thymus gland)

**1.3.2 ชนิดที่พบอยู่ร่วมกับต่อมมีท่อ** ได้แก่ Islets of Langerhans ในตับอ่อน, รังไข่ (Ovary) อัณฑะ (Testis) รก (Placenta) ไต (Kidney)

**1.3.3 ชนิดที่เป็นเซลล์กระจายอยู่ตามอวัยวะต่างๆ** เรียกว่า diffuse neuroendocrine glands ซึ่งเป็นเซลล์ที่กระจายแทรกอยู่ในอวัยวะต่างๆ เช่น เนื้อบุผิวทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ ไตและทางเดินปัสสาวะ กลุ่มเซลล์ในสมอง

ส่วนไฮโปทาลามัส หรือเซลล์ที่คารอติด บอดี (carotid bodies) เซลล์เหล่านี้สามารถสร้างและหลั่งสารเคมี ทำหน้าที่เป็นฮอร์โมนหรือสารสื่อประสาทได้

## 1.4 ความหมายของฮอร์โมน

ฮอร์โมน (hormone) คือ สารเคมีที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลข่าวสารที่สร้างขึ้น จากกลุ่มเซลล์ในต่อมไร้ท่อ (endocrine gland) แล้วส่งไปตามกระแสเลือด ไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย เพื่อกระตุ้น หรือยับยั้งกระบวนการต่างๆ ในเซลล์ หรืออวัยวะเป้าหมาย (target cells หรือ target organ) ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการต่างๆ ในร่างกายหลายอย่างเช่น ช่วยในการเจริญเติบโต ช่วยให้มนุษย์สามารถสืบพันธุ์ เป็นต้น

## 1.5 หน้าที่โดยทั่วไปของฮอร์โมน

ฮอร์โมนเป็นสารเคมีที่สร้างและหลั่งจากเซลล์หรือกลุ่มเซลล์จำเพาะในต่อมไร้ท่อ มีปริมาณเพียงเล็กน้อย สารเหล่านี้ออกฤทธิ์กระตุ้นหรือยับยั้งกระบวนการบางอย่างที่เซลล์เป้าหมาย (target cells) อาจเป็นเซลล์ที่หลั่งฮอร์โมนนั้นเอง (autocrine function) เซลล์ที่อยู่ข้างเคียง (paracrine function) เซลล์ที่อยู่ไกลออกไป (endocrine function) โดยการเข้าจับกับกับตัวรับฮอร์โมน (receptor) โดยทั่วไปแล้วฮอร์โมนมีหน้าที่สำคัญ 4 ประการ ได้แก่

**1.5.1 การสืบพันธ์** ฮอร์โมนช่วยควบคุมการเจริญและการเปลี่ยนแปลงตามวัยของอวัยวะเพศ การผลิตไข่และอสุจิ พฤติกรรมทางเพศ ลักษณะที่บ่งบอกเพศ ตลอดจนกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อการสืบพันธ์ ได้แก่ แอนโดรเจน (androgen) เอสโตรเจน (estrogen) โปรเจสเตอโรน (progesterone) ฟอลลิเคิล สติมูเลติ้งฮอร์โมน (follicle stimulating hormone) ลูทีไนซิ่งฮอร์โมน (luteinizing hormone) เป็นต้น

**1.5.2 การเจริญเติบโตพัฒนาการของร่างกาย** การเจริญเติบโตของร่างกายโดยรวม หรือการเจริญของเนื้อเยื่อแต่ละชนิดอาศัยฮอร์โมนหลายชนิด เช่น โกรทฮอร์โมน (growth hormone) ไทรอยด์ฮอร์โมน (thyroid hormone) อินซูลิน (insulin) กลูโคคอติคอยด์ (glucocorticoid) เป็นต้น โดยอาจมีผลโดยตรงหรือโดยอ้อม

**1.5.3 รักษาสภาวะภายในร่างกายให้คงที่** สภาวะหลายอย่างในร่างกายอาศัยการทำงานของฮอร์โมนหลายชนิดเพื่อรักษาไว้ให้คงที่ เช่น แอนติไดยูเรติก ฮอร์โมน (antidiuretic hormone, ADH) ช่วยควบคุมการขับน้ำออกที่ไต อัลโดสเตอโรน (aldosterone) ช่วยควบคุมการขับถ่ายโซเดียมและโปตัสเซี่ยมที่ไต พาราไทรอยด์ฮอร์โมน (parathyroid hormone) วิตามินดี 3 และแคลซิโตนิน (calcitonin) ช่วยควบคุมความเข้มข้นของแคลเซี่ยมและฟอสเฟตในเลือด ตลอดจนแคลเซี่ยมในกระดูก เป็นต้น

**1.5.4 การสร้างและใช้พลังงาน** มนุษย์มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเคมีของอาหารให้เป็น พลังงานที่จะนำมาใช้ได้ทันที เช่น สลายกลูโคสได้ ATP หรืออาจเก็บสะสมไว้ใช้ในภายหลังก็ได้ กลูโคสที่มากเกินจะถูกเก็บไว้ในรูปของไกลโคเจนและไขมัน ภายใต้อิทธิพลของอินซูลิน แต่ในช่วงที่ระดับกลูโคสในเลือดลดลง ไกลโคเจนและไขมันที่เก็บไว้จะถูกสลายภายใต้อิทธิพลของกลูคากอนและฮอร์โมนอื่นๆ เช่น เอพิเนฟรีน คอร์ติซอล และโกรทฮอร์โมน

## 1.6 ประเภทและคุณสมบัติของฮอร์โมน

ฮอร์โมนเป็นสารเคมี ออกฤทธิ์โดยการกระตุ้นหรือยับยั้งกระบวนการบางอย่างในเซลล์เป้าหมายที่อยู่ข้างเคียง เรียกว่า **autocrine function** หรือเซลล์ที่อยู่ข้างเคียง เรียกว่า **paracrine function** หรือถูกพาไปโดยกระแสเลือดเพื่อออกฤทธิ์ต่อเซลล์เป้าหมายที่อยู่ไกลออกไป เรียกว่า **endocrine function** และถ้าฮอร์โมนถูกสร้างโดยเซลล์ประสาทแล้วเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือด เรียกว่า **neurocrine function**

ฮอร์โมนแบ่งได้เป็นประเภทต่างๆ ตามคุณสมบัติทางเคมีได้ 4 ชนิด ได้แก่

**1.6.1 เปปไทด์ฮอร์โมน (Peptide hormone) หรือ โปรตีนฮอร์โมน (protein hormone)** เป็นประเภทที่พบมากที่สุด โครงสร้างประกอบด้วยกรดอะมิโนมาเรียงต่อกันด้วย peptide chain เช่น ฮอร์โมนที่สร้างจากไฮโปทาลามัส ต่อมพิทูอิทารี ตับอ่อน และต่อมพาราไทรอยด์ โปรตีนฮอร์โมนบางชนิดมีคาร์โบไฮเดรทเป็นส่วนประกอบของโมเลกุล เรียกว่า ไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ได้แก่ ฮอร์โมนโกนาโดโทรปินส์ (LH, FSH, HCG) และไทโรโทรปินส์ (TSH) เปปไทด์ฮอร์โมนมีคุณสมบัติสำคัญ เช่น สร้างและถูกเก็บไว้ในต่อมที่สร้างในถุง (vesicles) ขนส่งทางกระแสเลือดโดยไม่จับกับโปรตีนตัวพา ระดับของฮอร์โมนไม่คงที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว มีอายุครึ่งชีวิตสั้นประมาณ 5-10 นาที ละลายน้ำได้ดีแต่ไม่ละลายในไขมัน จึงไม่สามารถแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ที่มีโครงสร้างเป็นไขมันได้ ต้องมีตัวรับที่ผนังเซลล์

**1.6.2 สเตียรอยด์ฮอร์โมน (Steroid hormone)** สังเคราะห์จากสารตั้งต้น คือ โคเลสเตอรอล ได้แก่ ฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมหมวกไต รังไข่ และอัณฑะ สเตียรอยด์ฮอร์โมนมีคุณสมบัติสำคัญ เช่น ไม่เก็บไว้ในต่อมที่สร้าง เมื่อสร้างเสร็จแล้วจะถูกหลั่งออกทันที ขนส่งทางกระแสเลือดโดยจับกับโปรตีนตัวพาจำเพาะ ระดับของฮอร์โมนในเลือดค่อนข้างคงที่ อายุครึ่งชีวิตนานกว่าเปปไทด์ฮอร์โมน และเป็นฮอร์โมนที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในไขมันได้ดีจึงสามารถผ่านเยื่อผนังเซลล์เข้าไปจับกับตัวรับที่อยู่ภายในเซลล์ (cytoplasmic receptor) หรือที่นิวเคลียส (nuclear receptor)

**1.6.3 เอมีนฮอร์โมน (Amines hormone)** สร้างจากกรดอะมิโน tyrosine ฮอร์โมนในกลุ่มนี้ ได้แก่ แคทีโคลามีน (catecholamine) และไทรอกซีน (thyroxine) บางชนิดเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน ชื่อ tryptophan ได้แก่ เมลาโตนิน (melatonin) เอมีนฮอร์โมนมีคุณสมบัติสำคัญ เช่น สร้างและถูกเก็บไว้ในต่อมที่สร้างในถุง (vesicles) ขนส่งทางกระแสเลือดบางชนิด เช่น บางชนิดต้องจับกับโปรตีนตัวพาเฉพาะ ได้แก่ ไทรอกซีน ในขณะที่แคทีโคลามีน ไม่พึ่งพาโปรตีนตัวพา ระดับของฮอร์โมนไม่แน่นอนมีระดับสูงๆ ต่ำๆ ละลายน้ำได้ดี ออกฤทธิ์ได้ทั้งที่ยีนส์และที่อื่น ๆ

**1.6.4 เอโคซานอยด์ (Eicosanoids)** เป็นอนุพันธ์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ฮอร์โมนกลุ่มนี้ได้แก่ พรอสตาแกลนดิน (prostaglandin) ธรอมบ็อกแซน (thromboxane) ลิวโกไทรอีน (leukotriene) เมื่อหลั่งออกมา ฮอร์โมนจะมีผลต่ออวัยวะใกล้เคียง แต่จำนวนที่ผลิตออกมาจะไม่มาก และจะไม่สร้างเก็บไว้ จะสร้างก่อนการใช้งานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจะหยุดการทำงานอย่างรวดเร็ว

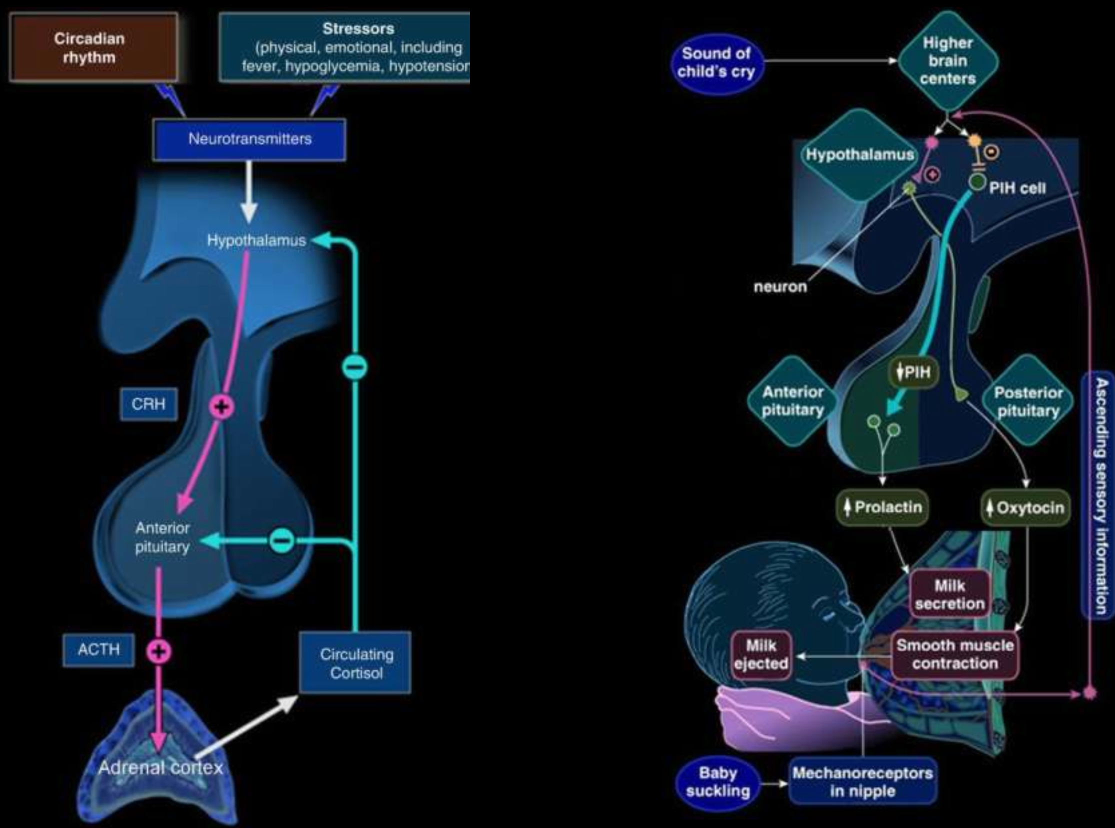
## 1.7 การควบคุมการหลั่งฮอร์โมน

ปกติต่อมไม่ได้หลั่งฮอร์โมนด้วยอัตราคงที่ตลอดเวลา แต่มีอัตราการหลั่งพื้นฐานมีลักษณะขึ้นๆ ลงๆ เป็นช่วง (pulsatile) เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นจะหลั่งฮอร์โมนด้วยอัตราสูงขึ้น เช่น ทุก 5-10 นาที หรือทุก 2-3 ชม. หรือหลั่งแต่ละรอบใช้เวลา 24 ชม. (circadian) หรือมีระดับเพิ่มสูงขึ้นที่เวลาเดียวของทุกวัน (diurnal) หรือมีรอบขึ้นลงตามฤดูกาล (seasonal) ฮอร์โมนต่างๆ ในระบบไหลเวียนจะต้องถูกควบคุมให้เพิ่มหรือลดลง ตามความจำเป็นและความต้องการของร่างกาย ร่างกายมีกลไกการควบคุมการหลั่งฮอร์โมน ดังนี้

**1.7.1 การควบคุมแบบย้อนกลับ (Feedback control)** คือการที่อวัยวะเป้าหมาย สร้างสารขึ้นมากระตุ้นหรือยับยั้งการทำงานของต่อมไร้ท่อให้หลั่งฮอร์โมนมากขึ้นหรือน้อยลง แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

**1) การยับยั้งย้อนกลับ (Negative feedback)** โดยทางตรง เช่น เมื่อมีการหลั่งฮอร์โมนเพิ่มมากขึ้นในกระแสเลือด ฮอร์โมนที่เพิ่มนั้นจะมีผลย้อนกลับไปยับยั้งการหลั่งของตัวเองโดยตรง หรือโดยอ้อมถ้าไปยับยั้งในระดับที่สูงกว่า เช่น การควบคุมการหลั่งของ ACTH การควบคุมฮอร์โมนส่วนใหญ่ใช้วิธีนี้

**2) การควบคุมแบบกระตุ้นย้อนกลับ (Positive feedback)** มีลักษณะการทำงานเช่นเดียว กับการยับยั้ง เพียงแต่จะไปกระตุ้นแทนการยับยั้ง เช่น ในระหว่างการคลอดบุตร ศีรษะเด็กที่ไปยืดขยายปากมดลูกจะไปกระตุ้นตัวรับที่รับรู้การยืด (stretch receptor) ซึ่งจะส่งสัญญาณประสาทไปกระตุ้นต่อมใต้สมองให้หลั่งฮอร์โมนออกซิโทซิน ซึ่งจะไปกระตุ้นการบีบตัวของมดลูก จนกระทั่งเด็กคลอดแล้ว จึงหยุดหลั่งฮอร์โมน




A B

รูปที่ 16-3 (A) แสดงกลไกการยับยั้งย้อนกลับ (Negative feedback) ตามรูป ACTH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า จะกระตุ้นต่อมหมวกไต (adrenal cortex) ให้สร้างคอร์ติซอล เมื่อคอร์ติคอล มีระดับสูงขึ้นจะไปยังยั้งการสร้าง ACTH และ hypothalamus, (B) แสดงกลไกการกระตุ้นย้อนกลับ (Positive feedback) เมื่อเด็กดูดนมแม่ จะกระตุ้นตัวรับรู้ mechanoreceptor ผลทำให้มีการหลั่ง oxytocin ทำให้มีการหลั่งของน้ำนม ตราบใดที่เด็กยังดูดนมแม่อยู่ และกลไกนี้จะหยุดไปเมื่อเด็กหยุดดูดนม

**1.7.2 การควบคุมทางระบบประสาท (Neural control)**

**1) โดยทางตรง** ได้แก่ การที่ต่อมเจริญมาจากเนื้อเยื่อเซลล์ประสาท ถูกควบคุมโดยระบบประสาทส่วนกลาง เมื่อประสาทถูกกระตุ้นจะทำให้มีการหลั่งฮอร์โมนทันที ได้แก่ การหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหลัง และต่อมหมวกไตชั้นใน

**2) โดยทางอ้อม** ได้แก่ การที่ไฮโปทาลามัสสร้างฮอร์โมน 2 ชนิด ได้แก่ Releasing hormone (RH) ซึ่งมีฤทธิ์กระตุ้นการหลั่ง และ Inhibiting hormone (IH) ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างและการหลั่งที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้า

### 1.8 การขนส่งฮอร์โมน

เมื่อมีการหลั่งฮอร์โมนในกระแสเลือด พวกโปรตีนฮอร์โมนและเอมีนฮอร์โมน ไม่จำเป็นต้องจับกับโปรตีนตัวพา เนื่องจากมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี สำหรับสเตียรอยด์และไทรอยด์ฮอร์โมนที่ไม่ละลายน้ำ จะจับกับโปรตีนขนส่ง ได้แก่ albumin, prealbumin, globulin และพาไปในระบบไหลเวียนเลือด




รูปที่ 16-4 แสดงการขนส่งฮอร์โมน

ฮอร์โมนที่จับกับโปรตีนขนส่ง (transport protein) เรียกว่า **bound hormone** เมื่อฮอร์โมนจะออกฤทธิ์จะต้องแตกตัวเป็นฮอร์โมนอิสระ เรียกว่า **free hormone** ฮอร์โมนจะอยู่ในระบบไหลเวียนในชั่วระยะ เวลาหนึ่ง แล้วจะถูกกำจัดออก ตับและไตเป็นที่สลายฮอร์โมน สารที่ได้จากการสลายจะถูกขับทิ้งทางน้ำดี ปัสสาวะ หรืออุจจาระ ดังนั้นระดับฮอร์โมนในเลือดจึงขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์ อัตราการหลั่ง อัตราการกำจัดฮอร์โมนจากกระแสเลือด

### 1.9 ความผิดปกติของต่อมไร้ท่อ

**1.9.1 พันธุกรรม** เช่น ความบกพร่องของเอนไซม์ ทำให้มีสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์ฮอร์โมนมีมากหรือน้อยเกินไป โปรตีนขนส่งมีมากหรือน้อยไป หรือความผิดปกติของตัวรับสัญญาณของฮอร์โมน

**1.9.2 การหลั่งฮอร์โมนผิดปกติ**

**1) *ภาวะขาดฮอร์โมน* (hormone deficiency)** เนื่องจากเซลล์ของต่อมไร้ท่อถูกทำลาย เช่นจากการติดเชื้อ สารเคมี การขาดเลือดมาเลี้ยง มีเนื้องอกไปกดการทำงานของต่อม ต่อมฝ่อจากผลของยา อายุมากขึ้น เป็นต้น ทำให้การสร้างฮอร์โมนลดลง รักษาโดยการให้ฮอร์โมนที่ขาดทดแทน

**2) *ภาวะฮอร์โมนเกิน* (hormone excess)** เนื่องจากเซลล์ที่สร้างฮอร์โมนขยายจำนวนมากเกินไป เช่น เป็นเนื้องอกธรรมดา มะเร็งของต่อม หรือได้รับฮอร์โมนจากภายนอก การรักษาทำได้โดยการฉายแสงเพื่อทำลายบางส่วนของต่อม หรือการผ่าตัดต่อมออก

**1.9.3 *ภาวะดื้อฮอร์โมน* (Hormone resistance)** เป็นความผิดปกติที่ตัวรับฮอร์โมน ไม่ตอบสนองต่อฮอร์โมนทำให้ฮอร์โมนออกฤทธิ์ต่อเซลล์เป้าหมายได้น้อยลง เช่น เบาหวานที่ดื้อต่ออินซูลิน (insulin resistance)

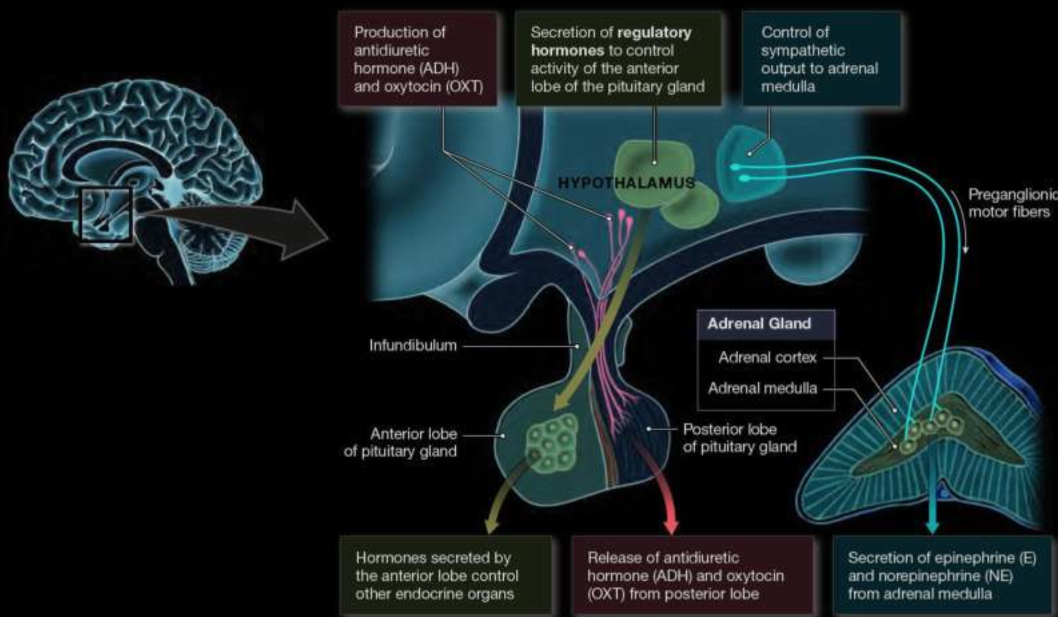
**ตารางที่ 16-1 แสดงต่อมไร้ท่อ ฮอร์โมน และหน้าที่สำคัญของต่อมไร้ท่อ**

| ต่อมไร้ท่อ | ฮอร์โมน | หน้าที่ |
|---|---|---|
| Hypothalamus | Releasing hormone | กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนที่ต่อมใต้สมอง |
| | Inhibiting hormone | ยังยั้งการหลั่งฮอร์โมนที่ต่อมใต้สมอง |
| Adenohypophysis | ACTH | กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนที่ต่อมหมวกไต |
| | FSH | ควบคุมการทำงานของอวัยวะเพศ |
| | LH | ควบคุมการทำงานของอวัยวะเพศ |
| | GH | กระตุ้นการเจริญเติบโต |
| | Prolactin | กระตุ้นการสร้างน้ำนม |
| | TSH | กระตุ้นการสร้างฮอร์โมนที่ต่อมไทรอยด์ |
| Neurohypophysis | ADH | เพิ่มการดูดน้ำกลับที่ไต |
| | Oxytocin | กระตุ้นการหดตัวของมดลูกและการหลั่งน้ำนม |
| Thyroid gland | Thyroid hormone | ควบคุมเมตาบอลิซึมของร่างกาย |
| | Calcitonin | ลดแคลเซี่ยมในเลือด |
| Parathyroid hormone | Parathyroid hormone | เพิ่มแคลเซี่ยมในเลือด |
| Pancreas | Insulin | ลดน้ำตาลในเลือด |
| | Glucagon | เพิ่มน้ำตาลในเลือด |
| Adrenal cortex | Cortisol | รักษาสมดุลของอาหาร |
| | Aldosterone | ดูดโซเดียม ขับโปตัสเซี่ยมที่ไต |
| | Catecholamine | ตอบสนองต่อภาวะต่อสู้หรือหนีภัย |
| Ovary | Estrogen | ทำให้มีลักษณะเป็นเพศหญิง |
| | Progesterone | ทำให้ผนังมดลูกหนาตัว ในช่วงตั้งครรภ์ |
| Testis | Testosterone | ทำให้มีลักษณะเป็นเพศชาย |
| Thymus | Thymosin | กระตุ้นการทำงานของ T-Lymphocyte |
| Pineal | Melatonin | ยับยั้งการทำงานของ gonadotropin |

**********************************

## ตอนที่ 2
## ไฮโปทาลามัส (Hypothalamus)

ไฮโปทาลามัสเป็นศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย การเต้นของหัวใจ ความดันเลือด ความหิว การนอนหลับ การหลั่งน้ำย่อยจากกระเพาะอาหาร ความสมดุลของน้ำในร่างกาย และการแสดงออกทางอารมณ์ความรู้สึกการหลั่งทำหน้าที่เชื่อมโยงการทำงานของระบบประสาทและระบบต่อมไร้ท่อ




รูปที่ 16-5 แสดงกลไกการควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อโดยไฮโปทาลามัส

### 2.1 ควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ

ไฮโปทาลาทัส ควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ โดยอาศัยกลไก 3 ประการ

**2.1.1 สร้างและหลั่งฮอร์โมนจากไฮโปทาลามัสไปควบคุมต่อมใต้สมองส่วนหน้า** เรียกว่า Hypothalamic hormone ส่วนใหญ่มีผลกระตุ้น (Releasing hormone, RH) บางชนิดที่มีผลยับยั้ง (Inhibiting hormone, IH)

**ตารางที่ 16-2 แสดง Releasing hormone และ Inhibiting hormone**

| Releasing hormone, RH | ผลต่อต่อมใต้สมองส่วนหน้า |
|---|---|
| Corticotropin releasing hormone (CRH) | (+) ACTH |
| Gonadotropin releasing hormone (GnRH) | (+) LH, (+) FSH |
| Growth hormone releasing hormone (GHRH) | (+) GH |
| Thyrotropin releasing hormone (TRH) | (+) TSH |
| Prolactin-releasing hormone (PRH) | (+) prolactin |
| Melanocyte-stimulating hormone (MSH) | (+) MSH |

+ หมายถึง กระตุ้น

| Inhibiting hormone, IH | ผลต่อต่อมใต้สมองส่วนหน้า |
|---|---|
| Growth-hormone-inhibiting hormone (GHIH) | (-) GH |
| Prolactin inhibiting hormone (PIH) | (-) prolactin |
| Melanocyte-stimulating hormone inhibiting factor (MRF) | (–) MSH |

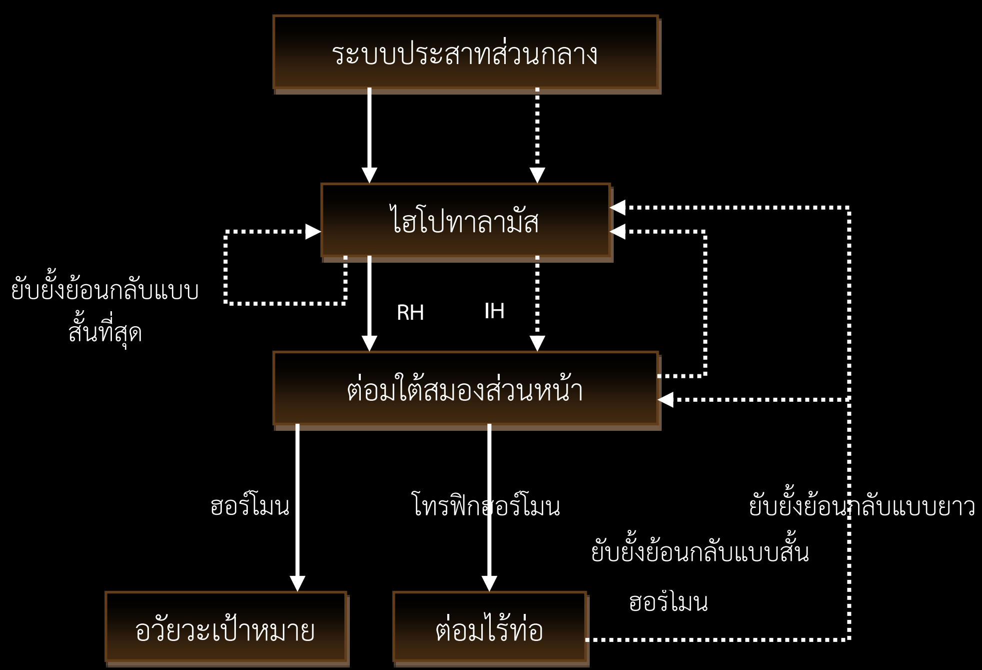
- หมายถึง ยับยั้ง

**2.1.2 สร้างฮอร์โมนไปเก็บที่ต่อมใต้สมองส่วนหลัง** ได้แก่ฮอร์โมนออกซิโทซิน (Oxytocin, OT) และวาโซเพรสซิน (Vasopressin, VP) หรือ Antidiuretic hormone (ADH)

**2.13 ควบคุมโดยตรงต่อต่อมหมวกไตชั้นใน** (adrenal medulla) ให้ผลิต catecholamine

## 2.2 Hypothalamo-pituitary-target endocrine gland axis

ไฮโปทาลามัสส่ง releasing hormone หรือ inhibiting hormone มาควบคุมเซลล์จำเพาะในต่อมใต้สมองส่วนหน้า ให้สร้างฮอร์โมนซึ่งถูกส่งต่อไปควบคุมต่อมไร้ท่ออื่นหรือเซลล์ของอวัยวะอื่นทั่วร่างกาย การควบคุมนี้มีลักษณะเป็นการขยายสัญญาณ พบว่า releasing hormone ที่หลั่งออกมามีปริมาณเป็น nanogram แต่สามารถทำให้มีการสร้างและหลั่ง pituitary hormone ในปริมาณที่มากกว่าเป็น 100-1,000 เท่า และมีผลให้ต่อมไร้ท่อเป้าหมายหลั่งฮอร์โมนเพิ่มขึ้นอีกเป็นพันเท่า




รูปที่ 16-6 แสดงฮอร์โมนจากไฮโปทาลามัสควบคุมการหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า และการยับยั้งย้อนกลับแบบต่างๆ (RH = releasing hormone, IH = inhibiting hormone)

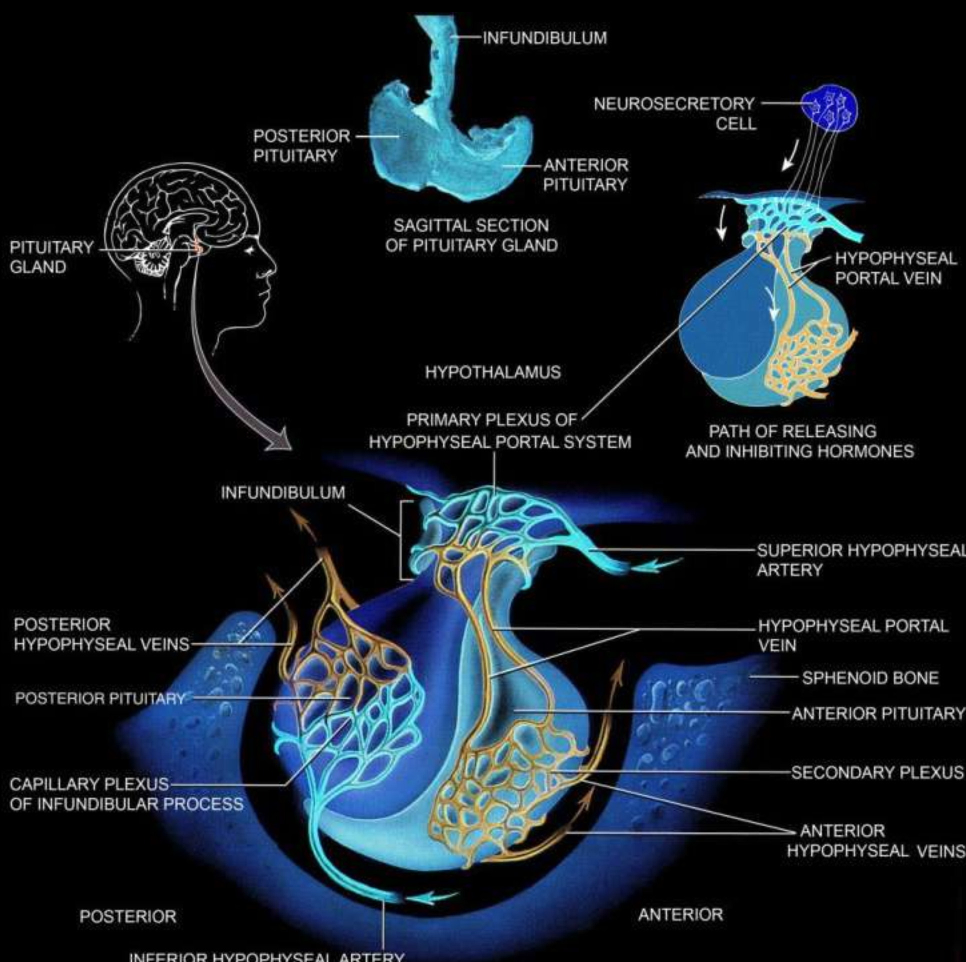
Releasing hormone และ inhibiting hormone ของไฮโปทาลามัสถูกควบคุมย้อนกลับแบบสั้น (short-loop feedback) โดยฮอร์โมนต่อมใต้สมอง หรือถูกควบคุมย้อนกลับแบบยาว (long-loop feedback) โดยฮอร์โมนของต่อมไร้ท่อ หรือสารเมตะบอไลต์ เช่น กลูโคส กรดไขมันที่เปลี่ยนแปลงโดยฤทธิ์ของฮอร์โมนต่อมไร้ท่อเป้าหมาย ฮอร์โมนเหล่านี้อยู่นอก blood-brain barrier จึงไม่สามารถผ่านเข้าไปในสมองได้ทางกระแสเลือดไหลเวียนทั่วไป แต่จะผ่านทางช่องทางเล็กๆ (fenestrated ) ของเส้นเลือดฝอยที่เลี้ยงเซลล์ประสาทในไฮโปทาลามัสหรือย้อนกลับไปทาง portal vessel นอกจากนี้อาจถูกควบคุมย้อนกลับแบบสั้นที่สุด (ultrashort loop feedback) โดย releasing hormone จะย้อนกลับไปควบคุมตัวเอง ผ่านเซลล์ประสาทที่เชื่อมโยงกันอยู่หรือผ่านทางน้ำไขสันหลัง

************************************

## ตอนที่ 3
## ต่อมใต้สมอง หรือ ต่อมพิทูอิทารี
## (Pituitary gland, Hypophysis cerebri)

ต่อมใต้สมองมีรูปร่างกลมรี สีน้ำตาลแดง เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.3 ซม. น้ำหนักประมาณ 0.6 กรัม ขนาดเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาวะของร่างกาย ต่อมห้อยอยู่กับก้านเรียกว่า infundibulum ซึ่งเป็นเนื้อสมองกลวง รูปกรวยยื่นออกมาจากสมองส่วนไฮโปทาลามัส ตัวต่อมวางตัวอยู่ในส่วนเว้าลักษณะเป็นแอ่งอยู่ด้านบนของกระดูก sphenoid ในแอ่งนี้ต่อมใต้สมองจะถูกปิดคลุมทางด้านบนโดยเยื่อหุ้มสมองชั้นดูรา ที่เรียกว่า diaphragm sellae แผ่นนี้จะมีช่องเล็กๆ ตรงกลางให้ infundibulum ผ่าน

ต่อมใต้สมองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามต้นกำเหนิด ลักษณะและหน้าที่การทำงาน ส่วนแรกเจริญยื่นลงมาจากสมองส่วน hypothalamus เรียกว่า **neurohypophysis** อีกส่วนพัฒนามาจากชั้นผิวนอกของเนื้อเยื่อใยปาก เรียกว่าได้แก่ **adenohypophysis** และด้วยวิธีการแยกแบบนี้ จะต่างกับวิธีการเรียกแบบเดิมที่เรียก posterior pituitary gland และ anterior pituitary gland ซึ่งไม่ได้รวมส่วน infundibulum ไว้




รูปที่ 16-7 แสดงกายวิภาคของต่อมใต้สมอง

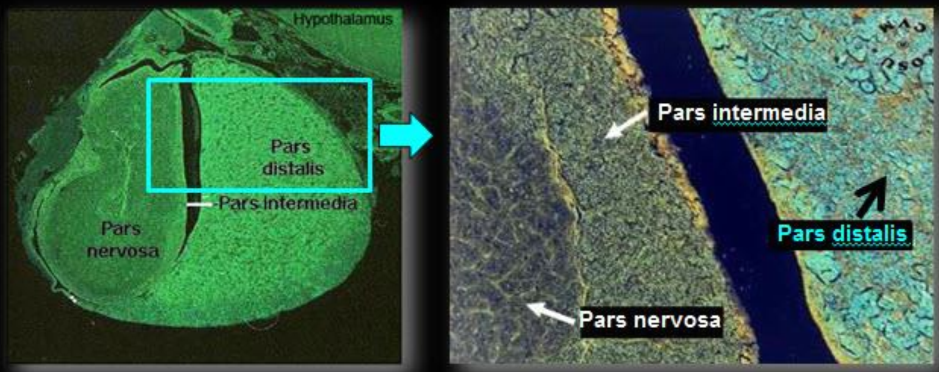
**3.1 ต่อมใต้สมองส่วนหน้า (Adenohypophysis)**

ต่อมใต้สมองส่วนหน้า เป็นส่วนของต่อมที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ หนักประมาณ 80% ของน้ำหนักต่อมใต้สมองทั้งหมด มีหลอดเลือดมาเลี้ยงจำนวนมาก ต่อมพัฒนามาจากกลุ่มเซลล์ของชั้นผิวนอกของเนื้อเยื่อเพดานปากในตัวอ่อน ต่อมประกอบด้วยเซลล์เป็นจำนวนมาก มีขนาดและรูปร่างต่างกัน อาจเรียงเป็นแถว เป็นกลุ่ม หรือ เป็นถุง แยกจากกันด้วยผนังหลอดเลือดบางๆ และยึดไว้ด้วยร่างแหที่สลับซับซ้อน ต่อมใต้สมองส่วนหน้าแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่

=> **Pars distalis**: เป็นโครงสร้างส่วนใหญ่ ลักษณะคล้ายต่อม

=> **Pars tuberalis (infundibularis)**เป็นส่วนของ pars distalis ที่ขยายขึ้นด้านบนไปล้อมรอบ infundibulum ไว้

=> **Pars intermedia**: เป็นส่วนที่ไม่เจริญ และถูกดันไปใกล้ต่อมใต้สมองส่วนหลัง สร้างฮอร์โมน melanocyte -stimulating hormone (MSH) ทำหน้าที่กระตุ้นเซลล์ melanocytes ให้สร้างเม็ดสี




รูปที่ 16-8 แสดงกายวิภาคของต่อมใต้สมองส่วนหน้า

**3.1.1 จุลกายวิภาคของต่อมใต้สมองส่วนหน้า**

**Pars distalis** พบเซลล์ 2 ชนิด ได้แก่ Chromophils และ Chromophobes

**Chromophils** แบ่งได้ตามอีกตามการติดสี ได้แก่ acidophils และ basophils

**1. Acidophils** เป็นเซลล์ขนาดใหญ่ ติดสีชมพู เซลล์สร้างฮอร์โมนที่เป็นพวกโปรตีน เรียก ชื่อเซลล์ตามฮอร์โมนที่สร้างขึ้น ดังนี้

=> **Somatotrophs** สร้าง human growth hormone (hGH) ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญ เติบโตของร่างกาย

=> **Lactotrophs** สร้าง Prolactin ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญของเต้านมและการหลั่งน้ำนมในระหว่างการตั้งครรภ์

**2. Basophils** มีขนาดใหญ่กว่า acidophils แต่มีจำนวนน้อยกว่า ย้อมติดสีด่าง เรียกชื่อเซลล์ตามฮอร์โมนที่สร้างขึ้น ดังนี้

=> **Thyrotrophs** สร้าง thyroid stimulating hormone (TSH) ทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของต่อมไทรอยด์

=> **Gonadotrophs** สร้าง Follicle stimulating hormone (FSH) ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญของไข่ในรังไข่ ควบคุมการสร้างและหลั่ง estrogen ในหญิง และ Interstitial cell stimulating hormone (ICSH) หรือ Luteinizing hormone (LH) กระตุ้นการสร้างและหลั่ง androgen จาก Leydig cells ของอัณฑะ

=> **Corticotrophs** สร้าง adrenocorticotropic hormone (ACTH) ทำหน้าที่กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนของต่อมหมวกไตส่วนนอก

**Chromophobes** เซลล์มีขนาดเล็กไม่ย้อมติดสี เชื่อว่าเป็นเซลล์ที่อยู่ในระหว่างพัก ไม่สร้าง ฮอร์โมน

เพื่อความสะดวกในการศึกษา เราแบ่งฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหน้า เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ Corticotropin related peptides, Somatomammotropins, Glycoproteins ตามตารางที่ 16-3

**ตารางที่ 16-3 ฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหน้า**

| กลุ่ม | ชื่อเซลล์ที่สร้าง | ฮอร์โมน |
|---|---|---|
| Corticotropin related peptides | Corticotrophs | Adrenocorticotropic hormone (ACTH) |
| Somatomammotropins | Somatotrophs<br>Lactotrophs | Human growth hormone (hGH)*****<br>Prolactin (PRL)***** |
| Glycoproteins | Gonadotrophs<br>Gonadotrophs<br>Thyrotrophs | Luteinizing hormone (LH)<br>Follicle stimulating hormone (FSH)<br>Thyroid stimulating hormone (TSH) |

หมายเหตุ

*GH, PRL ออกฤทธิ์ต่อเป้าหมายโดยตรง ส่วนอีก 4 ชนิดเป็นฮอร์โมนที่มีผลควบคุมการทำงานของต่อมไร้ท่ออื่นอีกต่อหนึ่ง เรียกว่า โทรฟิคฮอร์โมน หรือ โทรปิกฮอร์โมน (Trophic hormone หรือ tropic hormone)

### 3.1.2 ฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหน้า

GROWTH HORMONE (hGH)

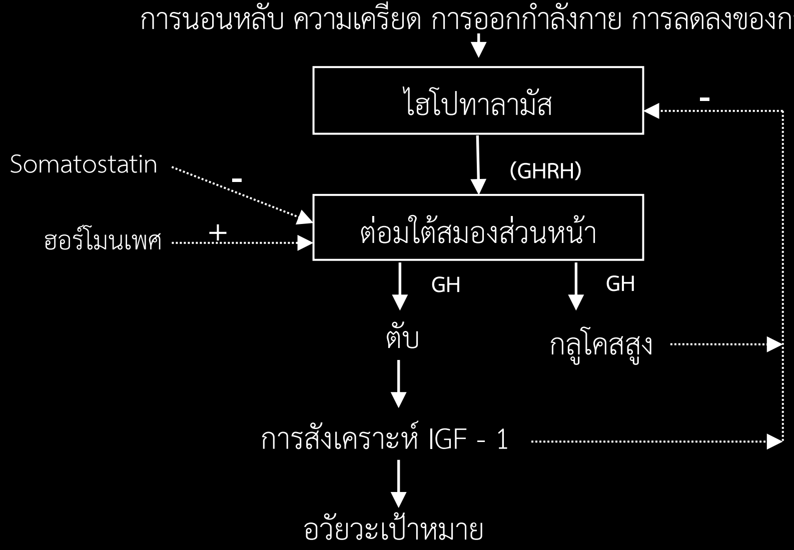
เซลล์ทุกเซลล์ในร่างกายเป็นเป้าหมายของฮอร์โมนนี้ **ยกเว้นเซลล์ประสาท** GH ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของร่างกาย โดยทำงานร่วมกับ growth factor ที่สำคัญ ได้แก่ IGF-I และฮอร์โมนอื่นๆ เช่น ไทรอยด์ฮอร์โมน อินซูลิน ฮอร์โมนช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของร่างกาย โดยเพิ่มความสูงตั้งแต่เด็กจนเป็นผู้ใหญ่ พบว่าระดับของ GH จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเจริญเติบโต เด็กจะหลั่ง GH มากที่สุดในช่วงหลับสนิท

**บทบาทของ GH**

1. GH มีความจำเป็นต่อการเจริญของกระดูกตามอายุ กระตุ้นการสร้างเนื้อเยื่อใหม่
2. ลดการสะสมและช่วยในการเผาผลาญไขมัน
3. ลดการใช้คาร์โบไฮเดรท โดยเปลี่ยนไปใช้ไขมัน เป็นแหล่งพลังงาน
4. รักษาระดับกลูโคสในเลือดให้คงที่ โดยการเปลี่ยนไกลโคเจนในตับไปเป็นกลูโคส
5. กระตุ้นการทำงานของเซลล์สร้างกระดูกที่ epiphyseal plate ทำให้กระดูกยาวขึ้น

**การควบคุมการหลั่ง GH**

ไฮโปทาลามัสหลั่ง Growth hormone releasing hormone (GHRH) มาควบคุมการสร้างและหลั่ง การหลั่ง GH การหลั่งมีความสัมพันธ์กับการนอนหลับและอายุ ในเด็กหลั่งมากกว่าผู้ใหญ่ และประมาณ 70% ของฮอร์โมนในแต่ละวันจะหลั่งภายใน 2 ชม. หลังการนอนหลับ นอกจากนี้ ความเครียด การออกกำลังกาย ความหิว การลดลงของกลูโคส ฯลฯ มีผลกระตุ้นการหลั่ง GH ในขณะที่กลูโคสในเลือดสูงจะมีผลลดการหลั่ง GH

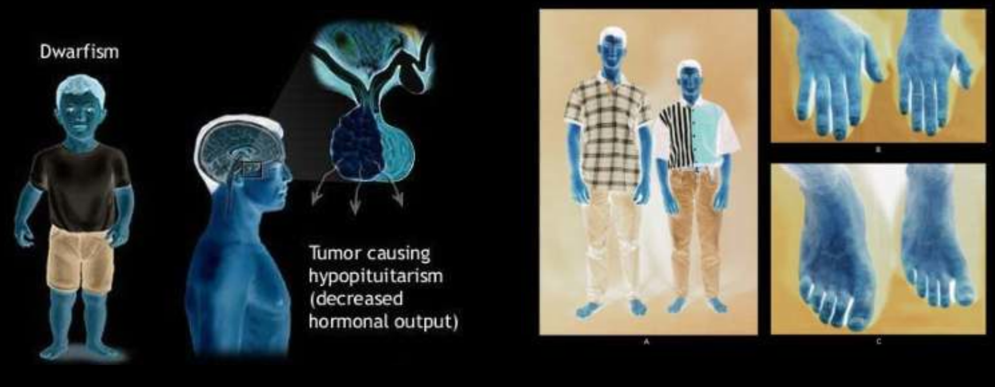



รูปที่ 16-9 แสดงการควบคุมการหลั่ง GH (เครื่องหมาย **+** แสดงการกระตุ้น เครื่องหมาย - แสดงการยับยั้ง)

**ภาวะความผิดปกติของ GH**

**1) Dwarfism** เป็นโรคที่มีการหลั่ง GH ในวัยก่อนหนุ่มสาว น้อยกว่าปกติ จะทำให้กระดูกมีการเจริญเติบโตช้าลง มีรูปร่างแคระแกรน

**2) Gigantism** เป็นโรคที่มีการหลั่ง GH ในวัยก่อนหนุ่มสาวมากกว่าปกติ ระยะนี้รอยเชื่อมต่อของกระดูก (epiphyseal plate) ยังไม่ปิด ทำให้มีรูปร่างสูงใหญ่โตกว่าปกติมาก




A. DWARFISM B. ACROMEGALY

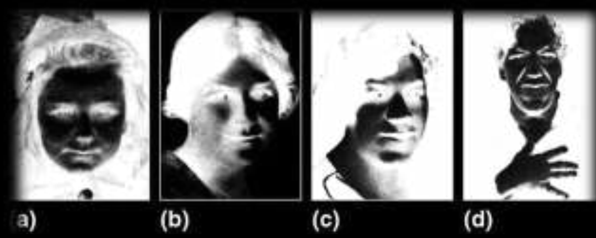
รูปที่ 16-10 ภาพ A แสดง Dwarfism และภาพ B แสดง Acromegaly

**3) Acromegaly** เป็นภาวะที่ร่างกายมีระดับ GH สูง หลังวัยก่อนหนุ่มสาวซึ่งกระดูกปิดแล้ว ส่วนกระดูกและเนื้อเยื่อเจริญออกทางด้านข้าง ผู้ป่วยมีลักษณะคางยื่น ฟันห่าง หนาผากเด่น มือ-เท้าใหญ่หนา จมูกโต ปากหนา ลิ้นใหญ่ หน้าตาหยาบ เสียงห้าว อวัยวะภายในมีขนาดใหญ่ขึ้น

**4) Growth hormone deficiency syndrome** เป็นภาวะที่ร่างกายมีระดับ GH น้อยในผู้ใหญ่ กล้ามเนื้อจะลีบ แก่เร็ว มีไขมันในเลือดสูง



A. เปรียบเทียบขนาดมือ




B. พัฒนาการของใบหน้าที่เปลี่ยนไป



C. รูปใบหน้าของคนที่เป็น Acromegaly

รูปที่ 16-11 แสดงความผิดปกติในผู้ป่วยที่เป็น Acromegaly

**ตารางที่ 16-4 สรุปความแตกต่างของการหลั่ง hGH ผิดปกติ**

| ความผิดปกติ | ช่วงวัย | โรค |
|---|---|---|
| Hypersecretion: หลั่งฮอร์โมนมาก | เด็ก | Gigantism |
| | ผู้ใหญ่ | Acromegaly |
| Hyposecretion: หลั่งฮอร์โมนน้อย | เด็ก | Dwarfism |
| | ผู้ใหญ่ | Growth deficiency syndrome |

## PROLACTIN (PRL)

เมื่อเข้าสู่วัยรุ่น ฮอร์โมนเอสโทรเจนจะกระตุ้นให้มีการเจริญเติบโตของเต้านม มีการสร้างสาขาของท่อน้ำนม (duct) ออกมากขึ้น หลังจากนั้นเอสโทรเจนกับโพรเจสเทอโรนจะทำงานร่วมกัน ทำให้ท่อน้ำนมและถุงน้ำนม (alveoli) เจริญอย่างสมบูรณ์ เต้านมมีขนาดใหญ่ขึ้นตึงตัวขึ้น (glandular development) ในขณะตั้งครรภ์ฮอร์โมนทั้งหมดนี้จะมี

จำนวนมากขึ้นทำให้เต้านมมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่โพรแลกทินยังไม่ได้กระตุ้นการสร้างน้ำนมเพราะถูกยับยั้งโดยฮอร์โมนเอสโทรเจนที่สร้างจากรกในระดับสูงระหว่างตั้งครรภ์ หลังคลอดรกลอกตัวแล้วระดับฮอร์โมนอีสโทรเจนลดน้อยลง

**หน้าที่ของ Prolactin**

1. กระตุ้นให้ถุงน้ำนมขับน้ำนมออกมาสู่ท่อน้ำนมแล้วมาที่หัวนม (nipple)
2. กระตุ้นการสังเคราะห์น้ำนม (lactogenesis) ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของทารก
3. กระตุ้นให้ต่อมน้ำนมหลั่งน้ำนมออกมา ซึ่งจะหลั่งออกมาวันที่ 3-4 หลังคลอด

**การสังเคราะห์และการหลั่ง Prolactin**

โพรแลกทินสังเคราะห์จากเซลล์ lactotroph (หรือ mammotroph) ของต่อมใต้สมองส่วนหน้า ต่อมใต้สมองของทารกสร้างโพรแลกทินของตนเอง ในเด็กหญิงเมื่อเข้าสู่วัยสาวระดับ โพรแลกทินจะเพิ่มสูงขึ้น และเพิ่มมากขึ้นอีกขณะตั้งครรภ์ ระดับเมื่อใกล้คลอดจะสูงกว่าสตรีไม่ตั้งครรภ์ถึง 10 เท่า หลังคลอด โพรแลกทินจะลดระดับลงจนเท่าระดับปกติภายใน 6 – 8 สัปดาห์ ทุกครั้งที่มารดาให้บุตรดูดนม เกิด suckling reflex ค่าโพรแลกทินจะเพิ่มสูงขึ้น 10 – 20 เท่าของระดับปกติ และสูงอยู่ประมาณ 1 ชั่วโมง โพรแลกทินที่สูงนี้กระตุ้นให้มีการสร้างน้ำนมสำหรับการดูดครั้งต่อไปของทารก การสร้างน้ำนมจะเกิดได้ตราบเท่าที่ยังมีการดูดนมของบุตร แต่อัตราการสร้างน้ำนมจะลดลงเรื่อย ๆ และลดมากหลังคลอด 7 – 9 เดือน

**การควบคุมการหลั่ง Prolactin**

การดูดนม (Sucking reflex) ของทารกกระตุ้นให้มีการหลั่งทั้งโพรแลกทิน และออกซิโทซินเพิ่มขึ้นพร้อม ๆ กัน ออกซิโทซินบีบไล่น้ำนมที่สร้างเก็บอยู่เดิมให้ออกมาสู่ทารก ส่วนโพรแลกทินกระตุ้นให้มีการสร้างน้ำนมใหม่เก็บไว้สำหรับมื้อต่อไป

ฮอร์โมน prolactin inhibiting hormone หรือ dopamine มีฤทธิ์ยับยั้งการหลั่งโพรแลกทิน ดังนั้นการให้ยา dopamine หรือสารตั้งต้นของ dopamine เช่น levodopa จึงมีผลยับยั้ง

**ความผิดปกติของการหลั่ง Prolactin**

**Prolactin หลั่งมากผิดปกติ** (hyperprolactinemia) สาเหตุที่พบบ่อยที่สุดคือ เนื้องอกของต่อมใต้สมอง และจากยาบางชนิดซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งโดปามีน โปรแลคตินที่สูงมากผิดปกติยับยั้งการสร้างและการหลั่ง GnRH โดยทำให้ gonadotroph ตอบสนองต่อ GnRH ได้น้อยลง ผลคือ LH และ FSH สร้างและหลั่งน้อยลง ไม่มีไข่ตก พบมีน้ำนมไหลถึงแม้จะไม่ได้ท้อง ประจำเดือนมาผิดปกติหรือไม่มา ในผู้ชาย หากระดับโปรแลคตินสูงๆ ทำให้มีน้ำนมไหลออกจากหัวนม อวัยวะไม่แข็งตัว ความต้องการทางเพศลดลง ผลิตอสุจิได้น้อยหรือไม่สามารถผลิตอสุจิได้ ทำให้มีบุตรยาก

**Prolactin หลั่งน้อยผิดปกติ** ทำให้มารดาไม่สามารถสร้างน้ำนมให้บุตรได้ พบได้ในผู้ป่วยที่เซลล์ของต่อมใต้สมองขาดเลือดมาเลี้ยง

**LUTEINIZING (LH) และ FOLLICLE STIMULATING HORMONE (FSH)**

LH และ FSH เป็นฮอร์โมนที่มีผลต่อต่อมเพศ รังไข่ และอัณฑะ ฮอร์โมนมีบทบาทหน้าที่ในการกระตุ้นและควบคุมการเจริญเติบโตของฟอลลิเคิลของไข่อ่อน การสร้างฮอร์โมนเอสโตรเจนจากรังไข่ในเพศหญิง การสร้างเชื้ออสุจิในเพศชาย ซึ่งต้องอาศัยทั้ง FSH และ LH การเจริญของ seminiferous tubule และ การสร้างฮอร์โมนเพศชาย

**หน้าที่ของ LH**

1. กระตุ้นการเจริญเติบโตของไข่หลังจากการกระตุ้นด้วย FSH ทำให้ไข่สุกและกระตุ้นการตกไข่

2. ทำให้เกิด corpus luteum ในรังไข่ ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนเพศหญิง คือ เอสโตรเจน และกระตุ้นการหลั่งโพรเจสเทอโรน

3. เตรียมต่อมน้ำนมสำหรับการหลั่งน้ำนม

4. ในเพศชาย LH ทำหน้าที่กระตุ้น Leydig's cells ในอัณฑะให้เจริญ และสร้างฮอร์โมนเทสโทสเตอโรน

ปกติ FSH และ LH จะต้องทำงานร่วมกัน และในอัตราที่พอเหมาะ จึงจะกระตุ้นการตกไข่ การหลั่ง estrogen และการสร้างอสุจิ

**การควบคุมการหลั่ง FSH และ LH**

จะถูกกระตุ้นโดย gonadotrophin releasing hormone (GnRH) หรือ Luteinizing hormone releasing hormone (LHRH) จากไฮโปทาลามัส และถูกควบคุมโดยฮอร์โมนเพศชื่อ inhibin จากอัณฑะและรังไข่

**3.1.3 การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนต่อมใต้สมองส่วนหน้า**

ถูกควบคุมโดย 2 วิธี ตามรูปที่ 16-6 ได้แก่

1. ระบบประสาทโดยผ่านทางไฮโปทาลามัส โดยไฮโปทาลามัส สร้าง hypothalamic hormone ซึ่งอาจทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น เรียกว่า Releasing hormone หรือยับยั้ง เรียกว่า Inhibiting hormone

2. การควบคุมแบบยับยั้งย้อนกลับ ต่อมใต้สมองส่วนหน้าจะหลั่งฮอร์โมนไปกระตุ้นต่อมเป้าหมายให้สร้างฮอร์โมน ซึ่งเมื่อระดับฮอร์โมนสูงขึ้นก็จะมีการสื่อกลับไปยับยั้งการทำงานของต่อมใต้สมองส่วนหน้าโดยตรง หรือที่ไฮโปทาลามัส เพื่อลดการสร้างฮอร์โมนในอยู่ในระดับสมดุล

**3.1.4 ความผิดปกติของต่อมใต้สมองส่วนหน้า**

**1. โรคขาดฮอร์โมนต่อมใต้สมอง (hypopituitarism)** อาจมีสาเหตุมาจาก

1.1 ความผิดปกติของต่อมใต้สมองส่วนหน้าถูกทำลาย ที่พบบ่อย เช่น เกิดเนื้องอกที่ต่อมใต้สมองมีการกดทับต่อม เนื้อเยื่อตาย การติดเชื้อ การฉายแสง หรือโดยไม่ทราบสาเหตุ โรคที่พบบ่อย คือ **Sheehan's syndrome** พบในผู้ป่วยหญิงที่มีการเสียเลือดอย่างมากระหว่างหรือหลังคลอดบุตร ภาวะช็อคจากการเสียเลือด ทำให้ต่อมใต้สมองขาดเลือดไปเลี้ยง เนื้อเยื่อต่อมตาย ทำให้ต่อมใต้สมองทำงานน้อยกว่าปกติในระยะเวลาต่อมา

1.2 ความผิดปกติของไฮโปทาลามัส ทำให้ขาดการกระตุ้นโดย releasing hormone สาเหตุ จากการทำลายที่ก้านสมอง จากการบาดเจ็บ ติดเชื้อ ขาดเลือดไปเลี้ยง หรือจากการได้รับฮอร์โมนจากภายนอกเป็นเวลานาน ทำให้การทำงานของ hypothalamic pituitary adrenal axis เสียไปชั่วขณะ

**อาการ** ของโรคอาจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว หรือใช้เวลาหลายปีขึ้นกับสาเหตุของโรค อาการแสดงขึ้นอยู่กับชนิดของฮอร์โมน ดังนี้

1. อาการที่เกิดจากการขาด FSH และ LH ในผู้หญิงมีการขาดประจำเดือน เต้านมเล็กลง ในผู้ชายทำให้เป็นหมัน ขนาดของอัณฑะเล็กลง

2. อาการที่เกิดจากการขาด prolactin ทำให้ไม่มีน้ำนมหลังคลอด

3. อาการที่เกิดจากการขาด TSH ทำให้เกิดอาการของต่อมไทรอยด์ทำงานต่ำ

4. อาการที่เกิดจากการขาด ACTH ได้แก่ อ่อนเพลีย คลื่นไส้อาเจียน มีไข้ ความดันโลหิตต่ำ
5. อาการที่เกิดจากการขาด GH ในเด็กทำให้ไม่เจริญเติบโต ในผู้ใหญ่ไม่ค่อยเห็นความผิดปกติ

**การรักษา** โดยการให้ฮอร์โมนทดแทน

**2. โรคที่เกิดจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าหลั่งฮอร์โมนเกิน (hyperpituitarism)** อาจมีสาเหตุจาก

1. เกิดจากเนื้องอก มีการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ ทำให้มีการหลั่งฮอร์โมนมากผิดปกติ มีผลไปกระตุ้นต่อมไร้ท่อเป้าหมายมากเกินไป
2. ไฮโปทาลามัสผิดปกติ ทำให้มีฮอร์โมนมากระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้ามากเกินไป
3. ต่อมไร้ท่อเป้าหมายไม่ทำงาน ทำให้ไม่มีการยับยั้งย้อนกลับ

**การรักษา** โดยการฉายแสง หรือการทำลายต่อม จากนั้นให้ฮอร์โมนทดแทน

### 3.2 ต่อมใต้สมองส่วนหลัง (Neurohypophysis)

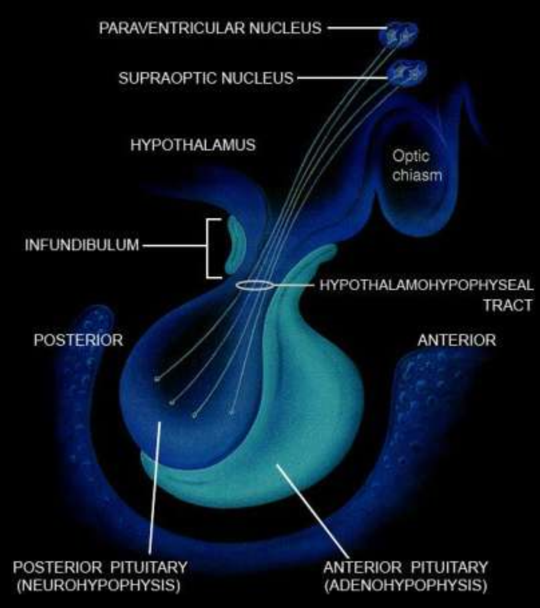
ต่อมใต้สมองส่วนหลัง เป็นเนื้อเยื่อประสาทที่ยื่นมาจากไฮโปทาลามัส มีน้ำหนักประมาณ 20% ของต่อมใต้สมองและค่อนข้างเจริญเต็มที่แล้วในทารกแรกเกิด ต่อมไม่มีหน้าที่ในการสังเคราะห์ฮอร์โมน เพียงแต่ทำหน้าที่เก็บและหลั่งฮอร์โมนที่สร้างจากไฮโปทาลามัสเท่านั้น ต่อมใต้สมองส่วนหลังประกอบด้วยส่วน **pars posterior** (pars nervosa หรือ neural lobe) กับ **infundibular stem** และอาจรวม median eminence ของสมองส่วนไฮโปทาลามัสด้วย

**จุลกายวิภาคของต่อมใต้สมองส่วนหลัง**

ต่อมมีลักษณะโครงสร้างเฉพาะไม่ได้เป็นต่อมเหมือนต่อมใต้สมองส่วนหน้า โครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยใยประสาทที่ไม่มีเปลือกหุ้ม โดยที่ตัวเซลล์อยู่ในไฮโปทาลามัส เซลล์มีขนาดเล็ก รูปดาวหลายแฉก เรียกว่าเซลล์ pituicyte

กลุ่มเซลล์ประสาทที่อยู่ในไฮโปทาลามัส 2 ชนิด ได้แก่

**1. กลุ่มเซลล์ประสาท Supraoptic nucleus (SON)** สร้างฮอร์โมน Antidiuretic hormone (ADH) มีหน้าที่ยับยั้งการขับปัสสาวะที่ท่อไตส่วนปลาย




รูปที่ 16-12 แสดงต่อมใต้สมองส่วนหลัง และกลุ่มเซลล์ในการสังเคราะห์ฮอร์โมน

**2. กลุ่มเซลล์ประสาท Paraventricular nucleus (PVN)** สร้างฮอร์โมน Oxytocin (OT) มีหน้าที่ในการบีบตัวของมดลูกขณะคลอดและช่วยให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบที่เต้านมหดตัวช่วยในการบีบน้ำนมในระยะหลังคลอด

ฮอร์โมนทั้ง 2 ชนิดอยู่ในรูปของโปรฮอร์โมน โดยจับกับโปรตีนตัวพา ชื่อ neurophysin ซึ่งบรรจุในถุงเยื่อเซลล์เป็นแกรนูล แล้วเคลื่อนลงมาตามใยเส้นประสาทที่เรียกว่า hypothalamohypophyseal fibers ลงมาเก็บไว้ที่ต่อมใต้สมองส่วนหลัง ระหว่างการเคลื่อนที่ลงมาจะถูกย่อยโดยเอ็นไซม์ ทำให้ neurophysin หลุดออกจากฮอร์โมนแล้วไหลเข้าสู่กระแสเลือดเมื่อร่างกายต้องการโดยการหลั่งถุงบรรจุฮอร์โมนออกจากเซลล์ (exocytosis)

### 3.2.2 ฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหลัง

**OXYTOCIN (OT)**

ออกซิโทซิน ออกฤทธิ์ที่กล้ามเนื้อเรียบมดลูก และเต้านม

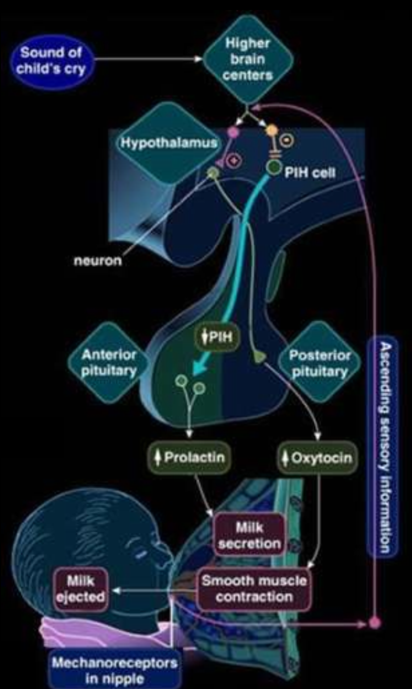
**หน้าที่**

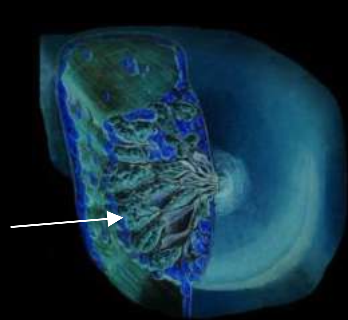
**1. ช่วยในการหลั่งน้ำนม (Milk ejection)** ในระยะหลังคลอด การหลั่งฮอร์โมนสูงสุดเมื่อเวลาลูกดูดนม ปลายประสาทที่หัวนมจะถูกกระตุ้นและส่งสัญญาณประสาทไปที่ไฮโปทาลามัส ทำให้มีการหลั่งฮอร์โมนมากระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบ myoepithelial cells ที่อยู่รอบๆ ถุงน้ำนม ทำให้น้ำนมไหลออกมา นอกจากนี้ ฮอร์โมนยังกระตุ้นพฤติกรรมความเป็นแม่ และกระตุ้นการหลั่งโพรแลกตินได้ด้วย

**2. ช่วยในการคลอดลูก (Uterine contraction)** โดยการกระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบของมดลูกอย่างรุนแรง เพื่อช่วยเร่งให้เด็กผ่านช่องคลอดออกมาอย่างรวดเร็ว ปกติกล้ามเนื้อเรียบของมดลูกสามารถตอบสนองต่อออกซิโทซินได้เพิ่มมากขึ้นภายหลังตั้งครรภ์ ซึ่งการตอบสนองการบีบตัวของมดลูกจะสูงสุดในช่วงก่อนคลอดเล็กน้อย

**การควบคุมการหลั่ง Oxytocin**

**1. การดูดนม (sucking reflex)** ทำให้เกิดการหลั่งน้ำนม เป็นรีเฟล็กส์ทำให้เกิดคลื่นประสาทผ่าน sensory nerve ไปไฮโปทาลามัส กระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหลังให้หลั่งออกซิโทซิน




รูปที่ 16-13 แสดงกลไกการหลั่งน้ำนมโดยออกซิโทซิน

**2. เกี่ยวกับ neuroendocrine reflex** โดยจะมีตัวรับรู้เกี่ยวกับการสัมผัส (touch receptor) ที่อยู่บริเวณหัวนม เช่น การแตะสัมผัสจะกระตุ้น touch receptor ทำให้ส่งผ่านกระแสประสาทประสาทกระตุ้น PVN หลั่งออกซิโทซินเพื่อกระตุ้นการหลั่งน้ำนมออกมา และการยืดของปากช่องคลอดในขณะร่วมเพศ หรือขณะคลอด จะผ่านตัวรับรู้การขยาย stretch receptor แล้วส่งสัญญาณประสาทไปไฮโปทาลามัส

**3. ด้านจิตใจ** เป็นรีเฟล็กส์ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เมื่อตาเห็น ได้ยินเสียงร้องของลูก ทำให้มีการหลั่งน้ำนมออกมาได้ ส่วนความหนาวเย็น เสียงดัง ความเจ็บปวดรุนแรง มีผลยับยั้งการหลั่งฮอร์โมน

## ANTIDIURETIC HORMONE (ADH)

**หน้าที่ของ ADH**

ออกฤทธิ์ที่เซลล์บุท่อไตส่วนปลายและท่อไตรวมเพื่อเพิ่มการดูดซึมน้ำกลับ ในภาวะที่เลือดมี ADH สูง ปัสสาวะจะออกน้อยและสีเข้ม และเมื่อเลือดมี ADH ต่ำ ปัสสาวะจะออกมากและเจือจาง ดังนั้น ADH จึงทำหน้าที่ควบคุมปริมาตรและความเข้มข้นของปัสสาวะ แต่ไม่มีผลต่อการขับสารทิ้งในปัสสาวะ

**การควบคุมการหลั่ง ADH**

**1. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำในร่างกาย (osmotic control)** เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ความเข้มข้นของพลาสมาที่เปลี่ยนแปลงไป 1% (3 มิลลิออสโมล/ลิตร) ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงนี้ถูกตรวจสอบโดยเซลล์พิเศษเรียกว่า **ออสโมรีเซปเตอร์ (osmoreceptor)** ซึ่งอยู่ที่ส่วนหน้าของไฮโปทาลามัส การเปลี่ยนแปลงขนาดของออสโมรีเซปเตอร์จะส่งสัญญาณเข้าสู่ไฮโปทาลามัส เพื่อเพิ่มหรือลดการหลั่ง ADH เช่น เมื่อความเข้มข้นของพลาสมาเพิ่มขึ้น ออสโมรีเซปเตอร์จะมีขนาดเล็กลง จะกระตุ้นการหลั่ง ADH มากขึ้น เพิ่มการดูดน้ำกลับเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อลดความเข้มข้นของเลือด

**2. การเปลี่ยนแปลงความดันโลหิต** ตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงความดันโลหิตในร่างกาย เรียกว่า **บาโรรีเซปเตอร์ (baroreceptor)** ซึ่งพบอยู่หลายตำแหน่งในร่างกาย เช่น Left atrium, Aortic arch, Carotid sinus เมื่อปริมาตรในหลอดเลือดมากขึ้น บาโรรีเซปเตอร์จะถูกยืด และส่งสัญญาณผ่านประสาท vagus และ glossopharyngeal เข้าสู่ก้านสมอง ในส่วนของ medulla oblongata ซึ่งเป็นศูนย์ควบคุมการเต้นของหัวใจและความดันโลหิต และมีสัญญาณจากก้านสมองไปที่ไฮโปทาลามัส เพื่อยับยั้งการหลั่ง ADH และเมื่อความดันโลหิตลดลง 5 -10% ของปกติ บาโรรีเซปเตอร์จะกระตุ้นให้มีการหลั่ง ADH มากขึ้น

**ภาวะความผิดปกติของ ADH**

**1. Diabetes insipidus (DI)** หรือ "**โรคเบาจืด**" หมายถึง "กลุ่มอาการที่มีการขับปัสสาวะเจือจางออกมาเป็นจำนวนมาก สาเหตุจากมีการหลั่ง ADH น้อยกว่าปกติ ผู้ป่วยจะมีปัสสาวะมาก ร่างกายอยู่ในภาวะขาดน้ำ กระหายน้ำมากจำเป็นต้องดื่มน้ำจำนวนมาก รักษาโดยการให้น้ำอย่างเพียงพอ ร่วมกับการให้ ADH สังเคราะห์ชดเชย

**2. Syndrome of inappropriate ADH secretion (SIADH)** เป็นภาวะที่มีการหลั่ง ADH มากกว่าปกติ ทำให้ไตดูดน้ำกลับเข้ามาในร่างกายมากเกิน ระดับโซเดียมในเลือดต่ำลงและมีภาวะน้ำเป็นพิษ มีสาเหตุสำคัญ 2 ประการ ได้แก่

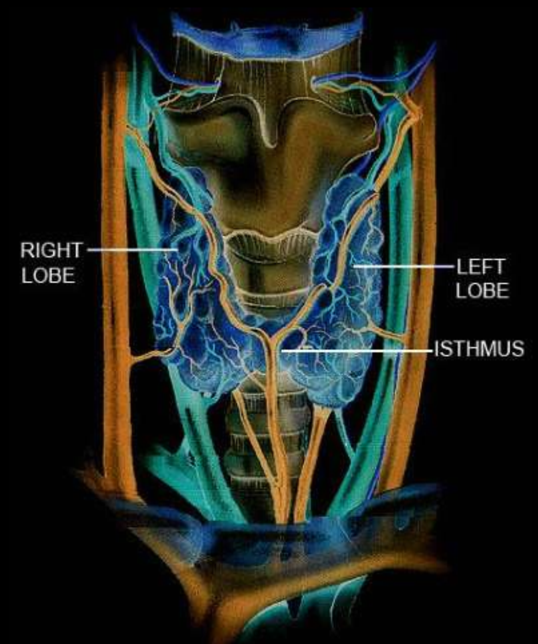
2.1 ความผิดปกติที่ไฮโปทาลามัสและต่อมใต้สมองส่วนหลัง ทำให้มีการหลั่ง ADH มากเกิน อาจเป็นผลจากรอยโรคในสมอง เช่น สมองและเยื่อหุ้มสมองอักเสบ หรือการได้รับบางชนิด เช่น chlorpropamide (รักษาเบาหวาน) vincristine และ vinblastin (รักษามะเร็ง) หรือยาสลบบางชนิด

2.2 มีการสร้าง ADH จากเนื้อเยื่ออื่นๆ เช่น มะเร็งปอด มะเร็งตับอ่อน

## ตอนที่ 4
## ต่อมไทรอยด์ (Thyroid gland)

ต่อมไทรอยด์เป็นต่อมไร้ท่อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในร่างกาย เก็บฮอร์โมนไว้มากที่สุดและเป็นต่อมที่มีเลือดมาเลี้ยงในปริมาณสูง ทำหน้าที่สังเคราะห์และหลั่งไทรอยด์ฮอร์โมน ซึ่งมีความสำคัญมากสำหรับการเจริญเติบโตของร่างกาย และควบคุมเมตาบอลิซึมของเนื้อเยื่อต่าง ๆ

ต่อมมีสีน้ำตาลแดงเนื่องจากมีเลือดมาเลี้ยงมาก ฝังอยู่ด้านหน้าหลอดลมคอ ระดับกระดูกคออันที่ 6 ถึงกระดูกสันหลังส่วนอกอันที่ 1 ต่อมมี 2 พู (lobe) ได้แก่ **พูข้างซ้าย (left lobe)** และ **พูข้างขวา (right lobe)** แต่ละพูมีลักษณะเป็นรูปกรวยปลายชี้ขึ้นด้านบนค่อนมาทางด้านหลัง หนา 2-2.5 ซม. ยาว 3-4 ซม. และกว้าง 1.5-2 ซม. พูข้างขวาใหญ่กว่าพูข้างซ้ายเล็กน้อย พูทั้งสองข้างเชื่อมต่อตรงกันตรงกลางด้วยส่วนคอด เรียกว่า **isthmus** และอาจพบพูยื่นออกจาก isthmus ปลายชี้ขึ้นทางด้านบน เรียกว่า **pyramidal lobe** (พบประมาณ 15% ของประชากร) โดยปกติต่อมหนักประมาณ 15-30 กรัม โตเล็กน้อยในเพศหญิง และจะโตมากขึ้นเมื่อมีประจำเดือน ขนาดของต่อมจะมีขนาดลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น





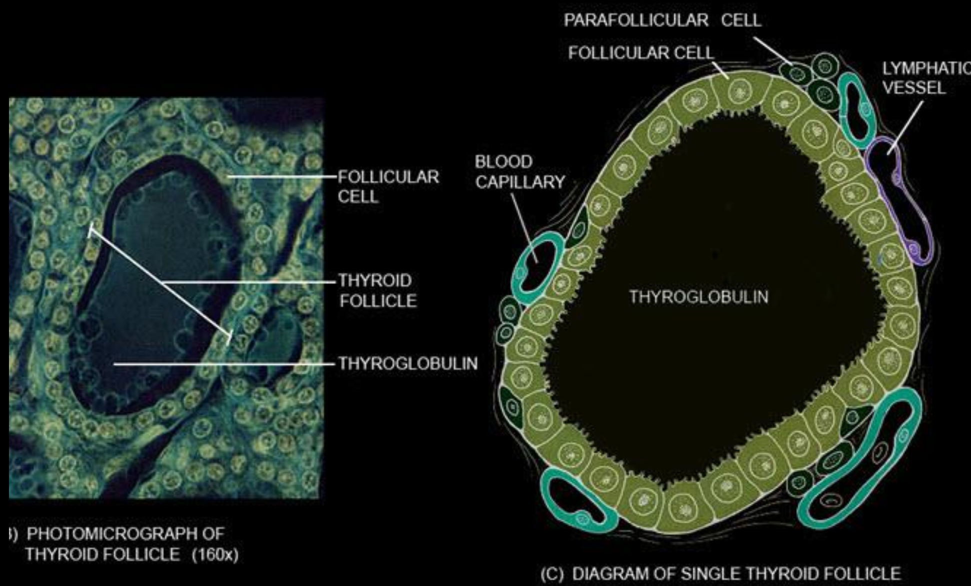

รูปที่ 16-14 แสดงกายวิภาคของต่อมไทรอยด์

**จุลกายวิภาคของต่อมไทรอยด์**

ต่อมมีถุงหุ้มบางๆ และมีบางส่วนของถุงหุ้มยื่นเป็นผนังกั้น (septum) แบ่งต่อมเป็นกลีบ (lobe) และกลีบย่อย (lobules) แต่ละกลีบย่อยประกอบด้วยเซลล์รูปลูกบาศก์ เรียกว่า follicular cells เรียงตัวชั้นเดียวเป็นถุงทรงกลมเล็กๆ จำนวนมาก เรียกว่า **ฟอลลิเคิล (follicle)** เป็นที่สร้างฮอร์โมน ฮอร์โมนมีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายวุ้นหรือคอลลอยด์ เรียกว่า **ไทโรโกลบูลิน (thyroglobulin)** ซึ่งก็คือไทรอยด์ฮอร์โมน (thyroid hormone) นั่นเอง

ไทรอยด์ฮอร์โมน มี 2 ชนิด คือ **Tetraiodothyronine (thyroxine, $T_4$)** และ **Triiodothyronine ($T_3$)** เมื่อเข้าสู่กระแสเลือดจะจับกับตัวพา โดยเฉพาะโกลบูลินมากที่สุด และเฉพาะฮอร์โมนที่แตกตัวเป็นอิสระจึงจะออกฤทธิ์ได้ ฮอร์โมนในเลือดมี $T_4$ มากกว่า $T_3$ คือมี $T_4$ ประมาณ 90 ng/ml ของพลาสมา แต่ $T_3$ จะมีน้อยกว่า คือมีประมาณ 3

ng/ml แต่มีความสามารถในการออกฤทธิ์มากกว่า 3-4 เท่า ฮอร์โมนจะออกฤทธิ์ในรูปของ T3 (T4 จะเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ T3 ก่อนจึงออกฤทธิ์ได้)




รูปที่ 16-15 แสดงจุลกายวิภาคของต่อมไทรอยด์

เซลล์ follicular cells มีนิวเคลียสกลมใส ในภาวะพักเซลล์มีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยม เซลล์อาจมีรูปร่างเตี้ยลงหรือมีขนาดสูงขึ้นจากการทำงานมาก โดยการกระตุ้นจาก thyroid stimulating hormone (TSH) ที่สร้างจากสมองต่อมใต้สมองส่วนหน้า ช่องว่างระหว่าง follicle พบเซลล์ที่เรียกว่า parafollicular cells แทรกอยู่ เซลล์ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนชื่อ Calcitonin (thyrocalcitonin) ซึ่งมีหน้าที่ลดระดับแคลเซี่ยมในเลือดให้ต่ำลง โดยลดการดูดซึมแคลเซี่ยมกลับจากท่อไต และลดการสลายแคลเซี่ยมจากกระดูก

**การสังเคราะห์ไทรอยด์ฮอร์โมน**

**1. Uptake of Iodide (Iodide uptake)**

=> ที่ผนังเซลล์ follicle cells พบ $Na^+/I^-$ symporter ทำหน้าที่ในการลำเลียงโซเดียม 2 ตัวและไอโอไดด์ 1 จากหลอดเลือดเข้าสู่เซลล์ ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงาน

**2. Oxidation and Iodination (Organification)**

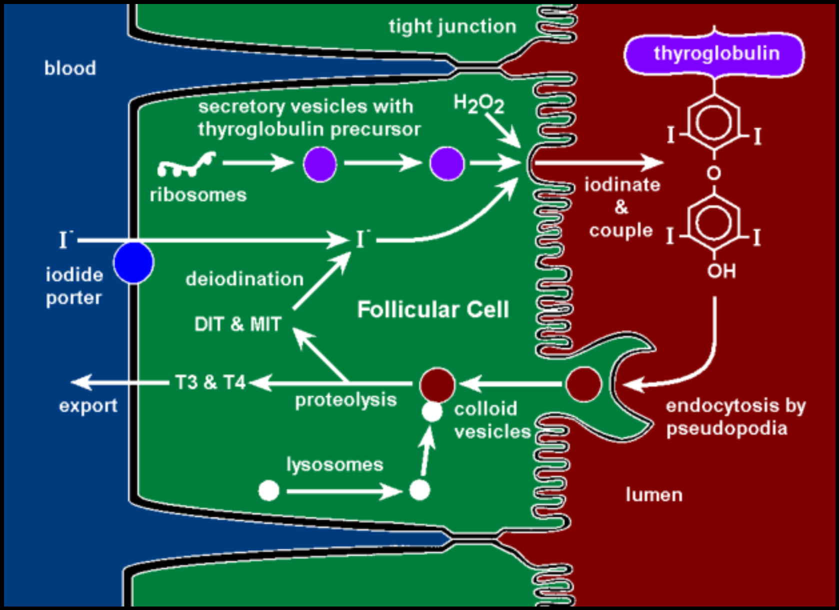
=> ไอโอไดด์ใน follicular cells จะถูกลำเลียงไปยัง colloid ผ่านทาง $Cl^-/I^-$ exchanger (Pendrin) ภายใน colloid มีเอนไซม์ thyroid peroxidase ซึ่งทำหน้าที่ในการ oxidation เปลี่ยน iodide ($I^-$) เป็น iodine ($I^+$) หลังจากนั้น tyrosine บน thyroglobulin จะถูกเติม iodine บน carbon ตำแหน่งที่ 3 และ/หรือ 5 (organification of iodine) ทำให้เกิดเป็น monoiodotyrosine (MIT) และ diiodotyrosine (DIT)

**3. Formation of Thyroxine and Triiodothyronine (Coupling)**

=> DIT 2 โมเลกุล จะรวมกันเป็น $T_4$ เอนไซม์ที่มีบทบาทในกระบวนการนี้ คือ thyroid peroxidase สำหรับ $T_3$ เกิดจากการรวมกันของ MIT และ DIT

**4. Synthesis and Secretion of Thyroid Hormones**

Colloid จะถูกเยื่อหุ้มเซลล์หุ้มเป็นถุง (vesicle) และส่งกลับเข้า follicular cell โดยวิธี pinocytosis หลังจากนั้นจะถูกเอ็นไซม์ lysosome ย่อยพันธะเปปไทด์ (peptide bonds) บน thyroglobulin ได้เป็น free $T_4$ และ free $T_3$ ออกมายัง cytosol และส่งเข้ากระแสเลือดทางเส้นเลือดฝอยต่อไป




รูปที่ 16-16 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์ไทรอยด์ฮอร์โมน

**หน้าที่ของไทรอยด์ฮอร์โมน**

**1. กระตุ้นการเจริญเติบโตของร่างกายทั่วๆไป** ช่วยเสริมสร้างกล้ามเนื้อ การเคลื่อนไหว กระตุ้นให้เซลล์สร้างโปรตีนเพิ่มมากขึ้น หากเด็กขาดฮอร์โมนจะไม่เจริญเติบโตตามปกติ แม้จะมี growth hormone ปกติก็ตาม ฮอร์โมนมีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของทารกตั้งแต่อยู่ในครรภ์ หากขาดฮอร์โมน จะพบความผิดปกติของกระดูกชัดเจน เด็กจะตัวเตี้ยแคระ และมีปัญญาอ่อน เรียกว่า **cretinism**

**2. ผลต่อเมตาบอลิซึม**

**2.1 การสร้างความร้อน และการใช้ออกซิเจน** ควบคุมอัตราการเผาผลาญสารอาหารต่างๆ ในร่างกาย ทำใหเกิดความอบอุ่นกับร่างกาย ทำให้ Basal Metabolic Rate (BMR) เพิ่มสูงขึ้น โดยกระตุ้นเพิ่มการใช้ออกซิเจน

**2.2 เมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรท** มีผลกระตุ้นทุกขั้นตอนของคาร์โบไฮเดรทเมตาบอลิซึม กระตุ้นการสร้างกลูโคส (gluconeogenesis) เพิ่มการดูดซึมกลูโคสเพื่อใช้เป็นพลังงาน เร่งกระบวนการสลายไกลโคเจนเป็นกลูโคส (glycogenolysis)

**2.3 เมตาบอลิซึมของไขมัน** ลดการสร้างไขมันและโคเลสเตอรอลในเลือด เพิ่มการสลายไขมัน (lipolysis) จากเนื้อเยื่อไขมัน ทำให้มีกรดไขมันอิสระในเลือดเพิ่มมากขึ้น เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน

**2.4 เมตาบอลิซึมของโปรตีน** ฮอร์โมนในขนาดปกติ มีผลการกระตุ้นการหมุนเวียนให้มีการสร้างและสลายตลอดเวลา ถ้าขาดฮอร์โมนการสร้างและสลายโปรตีนจะช้าลง ทำให้โปรตีนจับกับสารโพลิแซคคาไรด์ กรดไฮยาลูโร

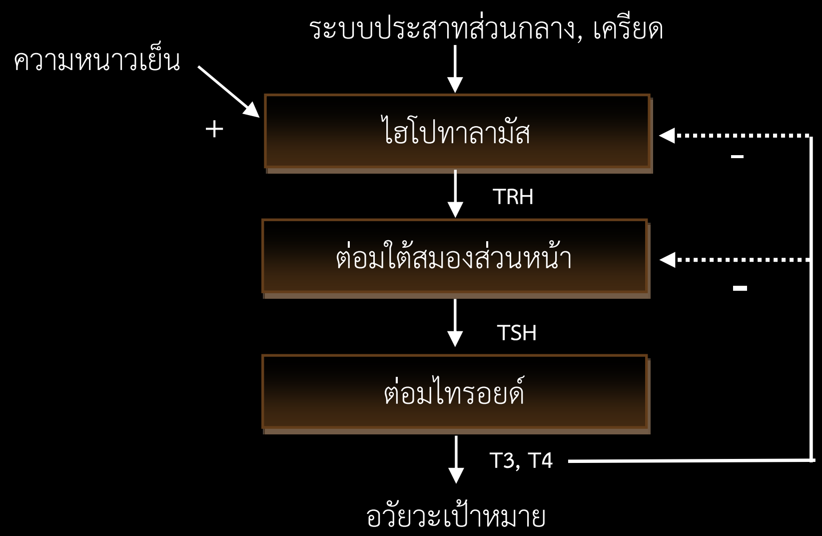
นิก และคอนดรอยตินซัลเฟต รวมตัวกันเป็นเมือกสะสมใต้ผิวหนัง และดูดน้ำทำให้มีอาการบวมน้ำใต้ผิว และอ้วนฉุ เรียกว่า **Myxedema**

**2.5 เมตาบอลิซึมของวิตามิน** เพิ่มความต้องการของวิตามิน เพราะวิตามินเป็นสารตั้งต้นของตัวกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยา (coenzyme) เพื่อใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกาย

**2.6 ผลต่อระบบประสาท** มีผลต่อการทำงานของระบบประสาท ถ้าขาดฮอร์โมนจะคิดอะไรได้เชื่องช้า แต่ถ้ามีฮอร์โมนมากไปจะรู้สึกกระวายกระวาย หงุดหงิดง่าย

**การควบคุมการหลั่งไทรอยด์ฮอร์โมน**

ไทรอยด์ฮอร์โมนถูกควบคุมโดย TSH ซึ่งมีผลต่อการสร้างและการหลั่งฮอร์โมน ขณะเดียวกัน $T_3$ และ $T_4$ ที่สูงในเลือด จะกลับไปยับยั้งต่อมใต้สมองส่วนหน้าโดยตรง หรือไปยับยั้งที่ระดับไฮโปทาลามัสเพื่อยับยั้ง TRH ในทางตรงข้ามถ้าระดับ $T_3$ และ $T_4$ ในเลือดลดลง จะกระตุ้นไฮโปทาลามัสให้หลั่ง TRH เพื่อกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้หลั่ง TSH ซึ่ง TSH จะไปกระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้สร้าง $T_3$ และ $T_4$ ต่อไป



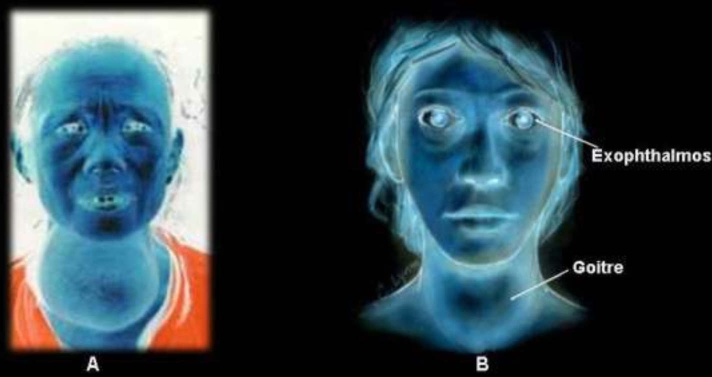

รูปที่ 16-17 แสดงการควบคุมการหลั่งฮอร์โมน (+ หมายถึง การกระตุ้น, - หมายถึง การยับยั้ง)

**ภาวะความผิดปกติของไทรอยด์ฮอร์โมน**

**1. คอพอก (Goitre)** หมายถึง " ภาวะที่ต่อมไทรอยด์มีขนาดโตกว่าปกติ อาจมีสาเหตุจาก

**1.1 ได้รับสาร goitrogens มากเกินไป** สารนี้ไปยับยั้งการสังเคราะห์ไทรอยด์ฮอร์โมน โดยการไปยับยั้งการส่งผ่านไอโอดีน ได้แก่สารพวก thiocyanate, thiouracil ซึ่งพบในกระหล่ำปลี หัวผักกาด เป็นต้น

**1.2 การได้รับสารไอโอดีนในอาหารน้อยผิดปกติ** ขาดเอ็นไซม์ในการสังเคราะห์หรือร่างกายต้องการฮอร์โมนมากกว่าปกติในวัยรุ่น สตรีตั้งครรภ์ และไม่ว่าด้วยสาเหตุใด ผู้ป่วยจะมีระดับฮอร์โมนในเลือดต่ำ จึงกระตุ้นการสร้างและการหลั่ง TSH เพื่อมากระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้โตขึ้น (hyperplasia) ถ้ายังสังเคราะห์ไม่พอจะเป็นแบบ hypothyroid goitre แต่ถ้ามากเกินจะเกิดภาวะเป็นพิษ (toxic goitre)




รูปที่ 16-18 แสดงลักษณะผู้ป่วยที่มีคอพอก (A) และลักษณะตาโปน Exophthalmos (B)

**2. ไทรอยด์ฮอร์โมนมากเกินไป (Hyperthyroidism) หรือต่อมไทรอยด์เป็นพิษ (thyrotoxicosis)**

เป็นภาวะที่มีไทรอยด์ฮอร์โมนมากความต้องการของร่างกาย จะโดยสาเหตุที่ต่อมสร้างไทรอยด์ฮอร์โมนมากเกินไป เป็นเนื้องอก หรือจากการรับประมาณฮอร์โมนสังเคราะห์มากเกินไป อาการพบอัตราการเผาผลาญอาหารสูง มีความร้อนในร่างกายมากขึ้น ขี้ร้อน เหงื่อออกมาก ซูบผอม เหนื่อยง่าย หายใจแรงและเร็ว หัวใจ เต้นเร็ว รู้สึกใจสั่น มือสั่น ท้องเสีย หงุดหงิด ตกใจง่าย นอนไม่หลับ ขาดสมาธิ อารมณ์แปรปรวน ผู้ป่วยบางรายมีตาโปน (exophthalmos) จากการที่เนื้อเยื่อหลังลูกตาบวม

**โรคเกรฟส์ หรือ โรคคอพอกตาโปน (Graves' disease)** เป็นสาเหตุที่พบได้บ่อยที่สุดประมาณ 60-80% ของผู้ป่วยไทรอยด์เป็นพิษทั้งหมด เป็นโรคที่พบได้มากในวัยรุ่นและวัยกลางคน (คนที่อายุประมาณ 20-40 ปี) พบในผู้หญิงมากกว่าผู้ชายประมาณ 5-10 เท่า สาเหตุของการเกิดโรคยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเกิดจากอะไร แต่พบว่ามีความสัมพันธ์กับเพศ (เพราะพบในผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย) และกรรมพันธุ์ (เพราะพบว่าผู้ป่วยบางรายมีประวัติพ่อแม่พี่น้องเป็นโรคนี้ด้วย) การสูบบุหรี่จะยิ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคนี้มากขึ้น โรคนี้จัดเป็นโรคภูมิต้านตนเอง (Autoimmune disease) ชนิดหนึ่ง ซึ่งพบว่ามีการสร้างสารภูมิต้านทานต่อไทรอยด์ ซึ่งมีอยู่หลายชนิด ที่สำคัญได้แก่ Thyroid-stimulating immunoglobulin (TSI) ซึ่งจะไปจับกับตัวรับฮอร์โมนกระตุ้นไทรอยด์หรือทีเอสเอช (Thyroid-stimulating hormone : TSH) ที่ต่อมไทรอยด์กระตุ้นให้ต่อมไทรอยด์หลั่งฮอร์โมนออกมาโดยอยู่นอกเหนือการควบคุมของต่อมใต้สมอง ทำให้มีฮอร์โมนไทรอยด์มากเกินจนเกิดภาวะไทรอยด์เป็นพิษ โรคนี้มักเป็นเรื้อรัง ผู้ป่วยบางรายอาจมีระยะสงบ (หายจากอาการเจ็บป่วย) แต่ก็อาจกำเริบได้ใหม่

**การรักษา**

1. ให้ยายับยั้งการสังเคราะห์ฮอร์โมน
2. ฉายแสง เพื่อทำลายเซลล์บางส่วนของต่อม
3. ผ่าตัดเนื้อต่อมบางส่วนออก

**3. ไทรอยด์ฮอร์โมนน้อยกว่าปกติ (Hypothyroidism)**

เป็นภาวะที่มีการสร้างไทรอยด์ฮอร์โมนน้อยกว่าความต้องการของร่างกาย อาจเป็นเพราะสร้างไม่พอ หรือเซลล์เป้าหมายไม่ตอบสนองต่อฮอร์โมนซึ่งมีระดับปกติ หรือมีตัวรับฮอร์โมนผิดปกติ เกิดโรคของต่อมไทรอยด์เอง ต่อมไม่ทำงาน การผ่าตัดเนื้อต่อมออกมากเกินไป การฉายแสง การขาดไอโอดีนอย่างมาก การทำงานของเอ็นไซม์ผิดปกติ หรือเกิดโรคที่

ต่อมใต้สมอง หรือที่ไฮโปทาลามัส ทำให้ระดับฮอร์โมนไม่เพียงพอ ทำให้ TSH มีระดับเพิ่มขึ้นเพื่อกระตุ้นการเจริญของต่อมให้มีขนาดโตขึ้น มีลักษณะของคอพอก แต่ต่อมก็ยังไม่สามารถสังเคราะห์ฮอร์โมนได้

**3.1 Cretinism** หมายถึง ภาวะที่มีไทรอยด์ฮอร์โมนน้อยกว่าปกติตั้งแต่เด็กทารก ทำให้พัฒนาการของสมองผิดปกติ การเจริญเติบโตของร่างกายและกระดูกช้ากว่าปกติ หากไม่ได้รับการรักษาทันท่วงที เด็กจะปัญญาอ่อน (mental retardation) ร่างกายแคระแกรน แขนขาสั้น ผมบาง พุงยื่น ฟันขึ้นช้า กล้ามเนื้ออ่อนแรง ลิ้นใหญ่คับปาก หายใจลำบาก ตัวเขียว อาจหูหนวกเป็นใบ้ ในเด็กอ่อนจะไม่ค่อยดูดนมและร้องเสียงแหบ

**3.2 Myxedema** หมายถึง ภาวะที่มีการขาดไทรอยด์ฮอร์โมนอย่างรุนแรงในผู้ใหญ่ มีอาการอ่อนเพลีย ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ เหนื่อยง่าย เสียงแหบ สมองทำงานช้าลง การตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นลดลง ร่างกายอ้วนเทอะทะ น้ำหนักเพิ่ม ตัวบวม อัตราการเผาผลาญในร่างกายลดลง ชาตามตัว เป็นตะคริว ขี้หนาว เบื่ออาหาร ท้องผูก เส้นผมแห้งและบางผมร่วง หายใจช้าลง อัตราการเต้นของหัวใจช้าลง ความดันโลหิตลดลง หมดสติและเสียชีวิต



A. Cretinism



B. Myxedema

รูปที่ 16-19 แสดงลักษณะของเด็กที่ขาดไทรอยด์ฮอร์โมน (A) และผู้ใหญ่ที่ขาดไทรอยด์ฮอร์โมน (B)

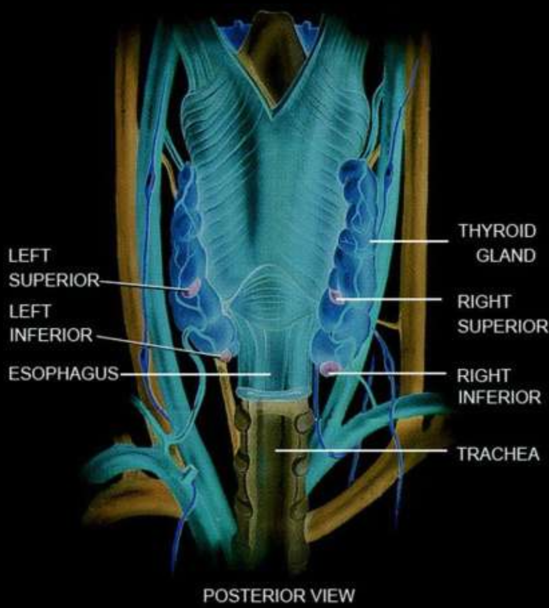
**การรักษา**

ตรวจเลือดวัดระดับฮอร์โมนในเลือด ให้ฮอร์โมนสังเคราะห์ชดเชย โดยเฉพาะในช่วงแรกเกิดถึงขวบปีแรก ถ้าไม่ได้รับฮอร์โมนชดเชยเด็กจะเติบโตเป็นเด็กปัญญาอ่อน

***********************************

## ตอนที่ 5
## ต่อมพาราไทรอยด์ (Parathyroid Glands)

Parathyroid glands มีรูปร่างกลมรีเหมือนเม็ดถั่วเหลือง สีน้ำตาลอมเหลือง โดยทั่วไปมีอยู่ 4 ต่อม แบ่งเป็น 2 ข้างๆ ละ 2 ต่อม ได้แก่ ต่อมคู่บน (superior parathyroid glands) และต่อมคู่ล่าง (inferior parathyroid glands) อาจมีจำนวนแตกต่างกันในแต่ละคน ต่อมฝังอยู่ในต่อมไทรอยด์ทางด้านหลังใต้เยื่อหุ้มของต่อมไทรอยด์ หนักประมาณ 50-300 มก. อาจมีขนาดและน้ำหนักไม่เท่ากัน ต่อมคู่ล่างมักมีขนาดใหญ่กว่า




รูปที่ 16-20 แสดงต่อมพาราไทรอยด์ทางด้านหลัง

**จุลกายวิภาคของต่อมพาราไทรอยด์**

ต่อมมีถุงหุ้มบางมาก และถูกหุ้มอีกชั้นโดยถุงหุ้มของต่อมพาราไทรอยด์ จากถุงมีแผ่นกั้นยื่นเข้าไปในเนื้อต่อม มีเซลล์ค้ำจุนและหลอดเลือดฝอยแทรกอยู่ทั่วไป เซลล์ที่พบในต่อมพาราไทรอยด์ ได้แก่

**1. Chief cells (Principal cells)** พบมากที่สุด ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน parathyroid hormone (PTH) หรือ parathormone

**2. Oxyphil cells** เป็นเซลล์ที่พัฒนามาจาก chief cells มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามอายุ สังเคราะห์และหลั่งฮอร์โมนได้เล็กน้อย

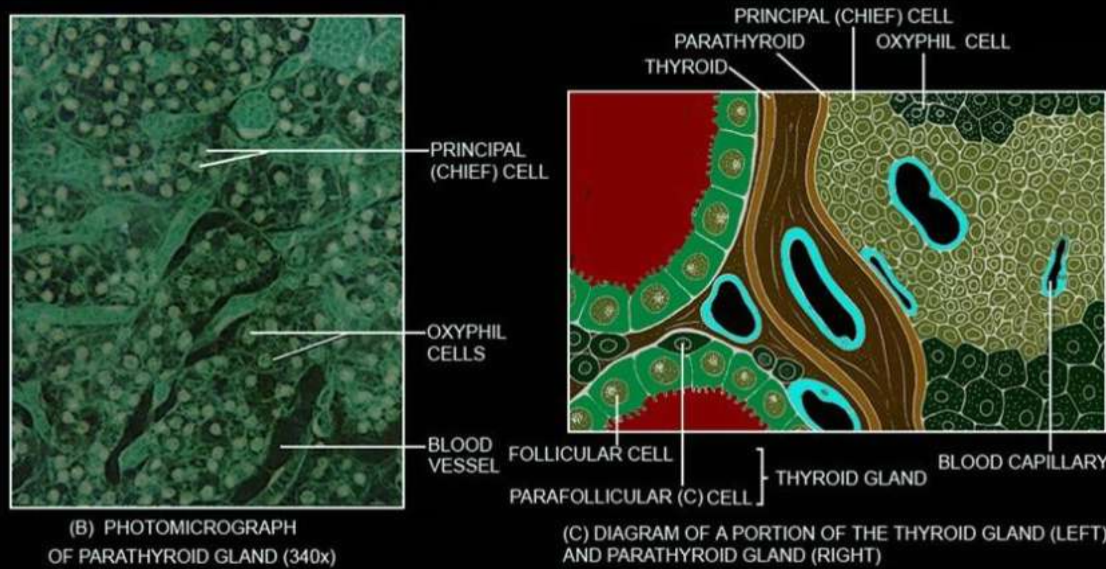
**บทบาทและหน้าที่ของพาราไทรอยด์ฮอร์โมน**

พาราไทรอยด์ฮอร์โมน ทำหน้าที่ควบคุมแคลเซี่ยมในเลือดให้สูงขึ้น และลดฟอสเฟต ดังนี้

**1. กระดูก** เพิ่มจำนวนและกระตุ้นเซลล์ชื่อ osteoclast ทำหน้าที่สลายแคลเซี่ยมจากกระดูก (bone resorption) เข้าสู่กระแสเลือด

**2. ไต** เพิ่มการดูดแคลเซี่ยมกลับที่เซลล์บุท่อไต

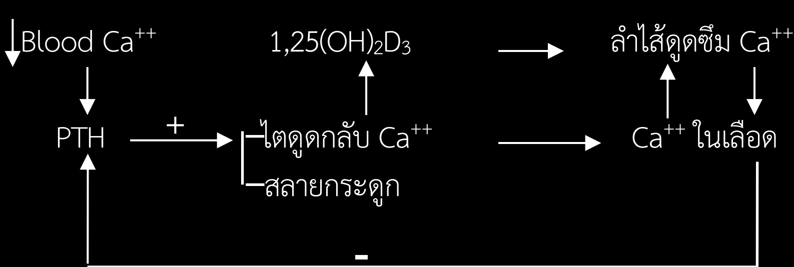
**3. การดูดซึมแคลเซี่ยมที่ลำไส้เล็ก** มีผลทางอ้อม กล่าวคือ ฮอร์โมนไปกระตุ้นการสร้าง 1,25 dihydroxy cholecalciferol (1,25$(OH)_2D_3$) ซึ่งเป็น active form ของวิตามินดี มีผลกระตุ้นการดูดซึมแคลเซี่ยมจากลำไส้




รูปที่ 16-21 แสดงกายวิภาคของต่อมพาราไทรอยด์

**การควบคุมการหลั่งพาราไทรอยด์ฮอร์โมน**

โดยระดับแคลเซี่ยมในเลือด หากระดับแคลเซี่ยมลดลงอย่างเฉียบพลัน อัตราการหลั่งฮอร์โมนจะเพิ่มสูงขึ้นทันที 5 เท่าของปกติ ในทางตรงข้ามระดับแคลเซี่ยมที่สูงขึ้นจะยับยั้งการหลั่ง PTH




รูปที่ 16-22 การควบคุมการหลั่งพาราไทรอยด์ฮอร์โมน

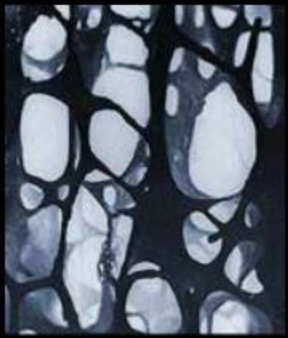
**ภาวะความผิดปกติของต่อมพาราไทรอยด์**

**1. ต่อมพาราไทรอยด์หลั่งฮอร์โมนมากเกินไป (Hyperparathyroidism)**

สาเหตุจากมีระดับฮอร์โมนสูงผิดปกติ ผู้ป่วยจะมีแคลเซี่ยมในเลือดสูง (hypercalcemia) ฟอสเฟตต่ำ พบแคลเซียมในปัสสาวะ อาจเกิดนิ่วในไต นิ่วในกระเพาะปัสสาวะ การสลายกระดูกจะทำให้กระดูกกร่อนเสียรูปจนบางและหักง่าย ปวดในกระดูก กล้ามเนื้ออ่อนแรง ลำไส้เคลื่อนไหวช้า ไม่เจริญอาหาร อาเจียน ท้องผูก มีการหลั่งกรดมาก



A. กระดูกปกติ



B. กระดูกพรุนจากการขาดแคลเซี่ยม

รูปที่ 6-23 แสดง A. กระดูกปกติ B. กระดูกพรุนจากการขาดแคลเซี่ยมในผู้ป่วยที่ต่อมพาราไทรอยด์หลั่งฮอร์โมนมากเกินไป

**2. ต่อมพาราไทรอยด์หลั่งฮอร์โมนน้อยเกินไป (Hypoparathyroidism)**

มักเกิดจากการตัดต่อมพาราไทรอยด์ออก ทำให้ระดับแคลเซี่ยมจะลดลง อาการเริ่มตั้งแต่อ่อนเพลีย สับสน สมองมึนงง ระบบประสาทและกล้ามเนื้อไวต่อสิ่งเร้า (hyperexcitability) มีอาการชาตามมือเท้า กล้ามเนื้อหดรัดตัว เกร็งเป็นตะคริวที่มือและเท้า มีอาการชักกระตุก (tetany) บริเวณหน้า ปอดไม่ทำงาน และเสียชีวิตได้

เกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อและประสาท เช่น ประสาทและกล้ามเนื้อจะไวต่อการตอบสนองมากกว่าปกติ ซึ่งตรวจสอบได้ง่ายๆ คือ โดยการใช้เครื่องวัดความดันรัดแขน จนเกินความดันซีสโตลิกเพื่อบีบเส้นเลือดให้ตีบ กล้ามเนื้อจะขาดแคลเซี่ยมไปเลี้ยง จะเกิดอาการกล้ามเนื้อเกร็ง มือกระตุกงอ (carpal spasm) ภายใน 3 นาที เรียกอาการนี้ว่า **อาการของทรูโซ (Trousseau's sign)**



A



B

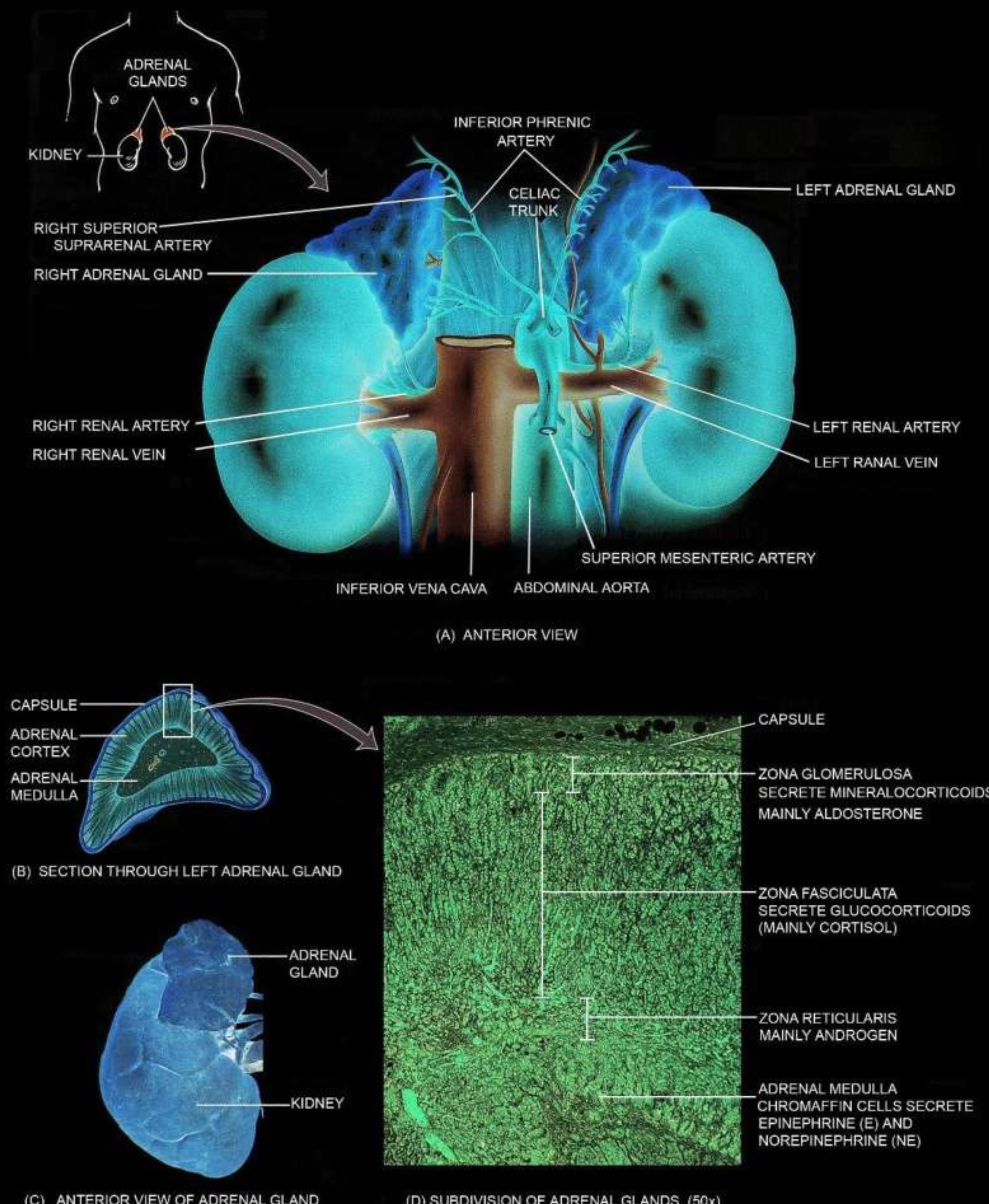
รูปที่ 16-24 แสดงอาการของทรูโซ (Trousseau's sign)

************************************

## ตอนที่ 6

## ต่อมหมวกไต (Adrenal Glands, Suprarenal Glands)

ต่อมหมวกไต เป็นก้อนเนื้อสีเหลืองแบน แต่ละก้อนวางอยู่ในแต่ละข้างของแนวกลางตัวหลังเยื่อบุช่องท้อง และอยู่ติดด้านบนค่อนไปทางด้านหน้าของขั้วขนของไต มักถูกห่อหุ้มโดยรอบด้วยเนื้อเยื่อไขมันหลวมๆ เรียกว่า perinephric fat และถูกหุ้มรวมอยู่กับไตในเยื่อพังผืดหุ้มไต (renal fascia) โดยทั่วไป ต่อมหมวกไตสูง 3-5 ซม. กว้าง 2-3 ซม. หนาไม่เกิน 1 ซม. น้ำหนักเฉลี่ย 3.5-5 กรัม และไม่ขึ้นกับเพศ อายุและรูปร่าง




รูปที่ 16-25 แสดงกายวิภาคของต่อมหมวกไต

**จุลกายวิภาคของต่อมหมวกไต**

ต่อมหมวกไตมีถุงหุ้มเป็นเนื้อยึดต่อ ต่อมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน คือ ต่อมหมวกไตชั้นนอก (adrenal cortex) ซึ่งอยู่ใต้ต่อถุงหุ้มเข้าไป และต่อมหมวกไตชั้นใน (adrenal medulla) ซึ่งถูก adrenal cortex หุ้มไว้อีกที

**1. ต่อมหมวกไตชั้นนอก (Adrenal cortex)**

อยู่ด้านนอกสุด หนักประมาณ 90% ของน้ำหนักต่อม แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

**1.1 Zona glomerulosa** อยู่นอกสุด อยู่ติดกับเยื่อหุ้มต่อม เป็นชั้นบางๆ เซลล์มีขนาดเล็ก สร้างและหลั่งกลุ่มฮอร์โมนพวก **mineralocorticoids** ได้แก่ **aldosterone** ทำหน้าที่ควบคุมสมดุลเกลือแร่ในร่างกาย

**1.2 Zona fasciculata** อยู่ตรงกลาง เป็นชั้นที่กว้างที่สุดของต่อมหมวกไตชั้นนอก เซลล์หลั่ง และหลั่งกลุ่มฮอร์โมน **glucocorticoids** ได้แก่ **cortisol**, cortisone และ corticosterone ทำหน้าที่ควบคุมเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรท ไขมัน และโปรตีน

**1.3 Zona reticularis** อยู่ในสุด เป็นชั้นบางๆ สร้างและหลั่งฮอร์โมนเพศชาย **androgen** เช่น dehydro epiandrosterone (DHEA) ซึ่งมีจำนวนน้อยกว่าที่สร้างจากอัณฑะ

**ฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์ (Glucocorticoid)**

ฮอร์โมนที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ **คอร์ติซอล (cortisol)** เป็นฮอร์โมนที่มีความจำเป็นที่มีความสำคัญต่อชีวิต ถ้าขาดฮอร์โมนจะมีผลอย่างมากต่อเซลล์ของร่างกาย

**หน้าที่ของ Cortisol**

**1. เพิ่มระดับน้ำตาลในกระแสเลือด** กลูโคคอร์ติคอยด์ได้ชื่อว่าเป็นฮอร์โมนแห่งการอดอาหาร (hormone of starvation) เพราะว่าจะกระตุ้นเซลล์ตับให้เปลี่ยนกรดไขมันและกรดอะมิโนบางตัวเป็นกลูโคส และเก็บสะสมไว้ในรูปของไกลโคเจน (gluconeogenesis) เรียกว่า กลูโคส สแปริ่ง เอฟเฟ็ก (glucose – sparing effect) ซึ่งเป็นขบวนการที่สำคัญเพราะจะมีผลในการเผื่อน้ำตาลกลูโคสไว้ให้สมองใช้งานได้ตลอดเวลา

**2. กดระบบภูมิคุ้มกัน** (immunosuppressive effect) ยับยั้งกลไกการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย ช่วยลดการสลัดอวัยวะที่ปลูกถ่าย (organ rejection) แต่กลูโคคอร์ติคอยด์จะไม่มีผลต่อภูมิคุ้มกันที่ได้รับจากภายนอก เช่น การได้รับวัคซีนที่เป็นอิมมูนต่างๆ (immune)

**3. ต่อต้านการอักเสบ** (anti inflammatory effect) โดยการลดการเคลื่อนที่ของเม็ดเลือดขาว ไปยังบริเวณที่อักเสบ ลดการเกิดหนอง (exudation) และลดการแพ้สารต่างๆ โดยยับยั้งการหลั่งฮีสตามีน แต่เนื่องจากระบบป้องกันตนเอง (defense mechanism) ถูกยับยั้งด้วย ทำให้เกิดผลเสียคือ ทำให้มีการแพร่กระจายของเชื้อโรค ทำให้ติดเชื้อง่าย และทำให้ลดภูมิคุ้มกันต่อเชื้อแบคทีเรีย (helicobacter pylori) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดโรคกระเพาะอาหาร เพราะทำให้เกิดแผลในกระเพาะ

**4. กระตุ้นการสลายแคลเซียม** โดยการเสริมฤทธิ์ของพาราไทรอยด์ฮอร์โมนทำให้มีแคลเซียมในกระแสเลือดเพิ่มมากขึ้น และลดการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้ ทำให้มีการขับแคลเซียมที่ท่อไตเพิ่มมากขึ้น ลดการสร้างกระดูก ยับยั้งการเติบโตของกระดูก ทำให้เกิดโรคกระดูกผุ

**5. ผลต่อประสาทส่วนกลาง** ทำให้สมองไวต่อสิ่งเร้า และต่อสู้กับความเครียด

**การควบคุมการหลั่ง Cortisol**

การทำงานของต่อมหมวกไตส่วนนอกถูกควบคุมโดย อะดรีโนคอร์ติโคโทรฟิคฮอร์โมน (adrenocorticotrophic hormone : ACTH) ซึ่งเป็นโทรฟิคฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า การหลั่งของ ACTH จะถูกควบคุมอีกทีจากคอร์ติโคโทรฟิน รีลิสซิงฮอร์โมน (corticotrophin releasing hormone: CRH) จากไฮโพทาลามัสมาตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม ได้แก่ ระยะเวลาของแต่ละวัน การเปลี่ยนเวลานอน การอดอาหาร ภาวะเครียด ระดับของคอร์ติซอลที่ลดลงจะย้อนกลับไปกระตุ้นการหลั่ง CRH และ ACTH ได้

ความเครียด การได้รับบาดเจ็บ อารมณ์ ฯ จะกระตุ้นไฮโพทาลามัส ให้หลั่ง CRH ไปกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้า ให้หลั่ง ACTH มากระตุ้นที่ต่อมหมวกไตส่วนนอก ให้หลั่งฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนนอกออกมามีผลต่อส่วนต่างๆ ของร่างกาย แต่เมื่อระดับฮอร์โมนของต่อมหมวกไตส่วนนอกมีมากเพียงพอ จะไปยับยั้งไฮโพทาลามัสและต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้ลดการหลั่ง CRH และ ACTH ทำให้ฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตปกติ

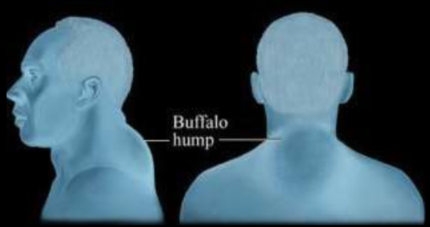
ระดับของฮอร์โมนจะสูงต่ำตามระดับของอะดรีโนคอร์ติโคโทรฟิคฮอร์โมน (adrenocorticotrophic hormone : ACTH) ซึ่งส่งมาควบคุมจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ACTH จะมีการหลั่งเป็นการควบคุมในรอบ 24 ชั่วโมง (circadian rhythm หรือ diurnal ซึ่งแปลว่า กลางวัน-กลางคืน) คือ มีการหลั่งสูงสุดตอนเช้ามืด ก่อนตื่นนอนจนถึงตอนเช้า ในช่วงกลางวันจะลดลงไปเรื่อยๆ จะต่ำสุดในช่วงกลางคืนและก่อนนอน เป็นเช่นนี้ทุกวัน

**ภาวะความผิดปกติของ Cortisol**

**1. Cushing’s disease** เป็นความผิดปกติที่เกิดจากมีระดับฮอร์โมนมากเกินไป สาเหตุสำคัญจากมีการขยายตัวของต่อม มีเนื้องอกของต่อมใต้สมอง หรือได้รับฮอร์โมนจากภายนอกมากเกินไป ผู้ป่วยจะมีอาการอ่อนเพลีย กินจุ อ้วนผิดส่วน น้ำหนักเพิ่ม มีการสะสมไขมันในส่วนกลางของลำตัว แต่แขนขาลีบ ต้นคอเป็นโหนกงอกออกมา เรียกว่า buffalo hump คางหนา 2 ชั้น ท้องใหญ่ หน้ากลมเหมือนพระจันทร์ (moon face) ผิวบางลง มีรอยแตกที่ผิวหนังหน้าท้องมีลายสีแดง (red striae) อาจขาดประจำเดือน ไม่มีหน้าอก จอนยาวขึ้น มีหนวดเล็กน้อย มีขนขึ้นตามลำตัว อ่อนเพลีย ความดันโลหิตสูง กระดูกผุ ปวดหลัง แคลเซี่ยมในเลือดสูง เป็นแผลในกระเพาะอาหาร เกิดนิ่วในไต เม็ดเลือดแดงเม็ดเลือดขาวลดลง ภูมิต้านทานโรคลดลง กระวนกระวาย นอนไม่หลับ








A. Red striae B. Moon face C. Buffalo hump

รูปที่ 16-26 แสดงลักษณะของผู้ป่วยที่เป็น Cushing’s disease

**2. Addison’s disease** เป็นความผิดปกติที่เกิดจากมีระดับฮอร์โมนต่อมหมวกไตส่วนนอกทุกตัว สาเหตุที่พบบ่อยจากโรคภูมิแพ้ตัวเอง ต่อมไม่ทำงาน ถูกทำลาย ผู้ป่วยจะมีอาการสมองมึนงง ทนต่อสภาวะเครียดไม่ค่อยได้ กินไม่ได้ นอนไม่หลับ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย ร่างกายสูญเสียน้ำ (hypovolemia) สูญเสียโซเดียม แต่โปตัสเซี่ยมสูง การเสียน้ำ

ทำให้ความดันต่ำ น้ำหนักลด อ่อนเพลีย อาการเด่นชัดที่สำคัญคือ ผิวหนังมีสีคล้ำขึ้น เพราะเมื่อร่างกายขาด cortisol จึงไปกระตุ้นการหลั่ง ACTH ซึ่งมีสูตรโครงสร้างส่วนหนึ่งไปคล้ายกับ MSH จึงมีผลกระตุ้นให้ผิวหนังสีคล้ำลง โดยเฉพาะข้อพับต่างๆ หัวเข่าข้อศอก ฝ่ามือฝ่าเท้า ริมฝีปาก เหงือก และรอบๆ หัวนม ผู้ป่วยอาจเกิดภาวะวิกฤต ที่เรียกว่า Addison's crisis อาจเสียชีวิตได้



รูปที่ 16-27 แสดงลักษณะของผู้ป่วยที่เป็น Addison's disease

**ฮอร์โมนมินเนอราโลคอร์ติคอยด์ (Mineralocorticoid)**

ฮอร์โมนมินเนอราโลคอร์ติคอยด์ (mineralocorticoid) ผลิตจากส่วนนอกของต่อมหมวกไตชั้นนอก มีหน้าที่ในการควบคุมความสมดุลของน้ำและแร่ธาตุในร่างกาย ฮอร์โมนที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ **แอลโดสเตอโรน (aldosterone)** ซึ่งมีอวัยวะเป้าหมายส่วนใหญ่ที่ไต

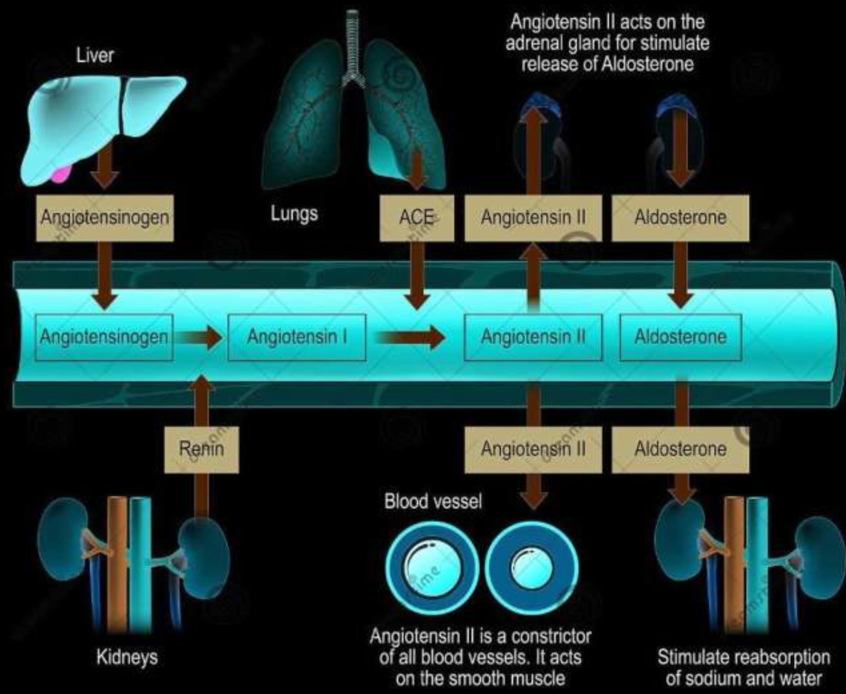
**หน้าที่ของ Aldosterone**

Aldosterone มีหน้าที่ในการควบคุมความสมดุลของน้ำและแร่ธาตุในร่างกาย โดยการเพิ่มการดูดกลับของโซเดียมและเพิ่มการขับโปตัสเซียมที่หลอดไตส่วนปลาย (distal renal tubules) ทำให้โซเดียมเพิ่มขึ้นในกระแสเลือดและมีโปตัสเซียมมากขึ้นในปัสสาวะ

ในขณะที่มีการดูดกลับโซเดียมอิออน ร่างกายจะขับไฮโดเจนอิออน ($H^+$) ออกไปทางปัสสาวะเป็นการแลกเปลี่ยน ซึ่งเป็นผลดีคือร่างกายไม่เป็นกรดมากเกินไป ในขณะเดียวกันที่ร่างกายเก็บโซเดียมซึ่งเป็นอิออนบวกไว้ร่างกาย ในณะเดียวกันนำคลอไรด์อิออน ($Cl^-$) และไบคาร์โบเนตอิออน ($HCO3^-$) ซึ่งเป็นขั้วลบเข้ามาในกระแสเลือดด้วย ทำให้ดึงน้ำตามเข้ามาในกระแสเลือดเช่นกัน การขาดแอลโดสเตอโรนจึงเป็นการสูญเสียน้ำและโซเดียมไปกับปัสสาวะ ดังนั้น การทำงานของแอลโดสเตอโรนจึงเป็นการควบคุมปริมาตรเลือดในร่างกาย ความดันโลหิต และความเป็นกรดด่างของร่างกายด้วย

**การควบคุมการหลั่ง Aldosterone**

การหลั่งของแอลโดสเตอโรนจะถูกกระตุ้นโดยปริมาณเลือดหรือพลาสมาในระบบไหลเวียนของเส้นเลือดแดง ซึ่งจะพบเมื่อร่างกายขาดโซเดียม เสียเลือด ขาดน้ำ เมื่อปริมาณสารเหลวในร่างกายลดลง ทำให้ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงที่ไตโดยเฉลี่ยลดลง ทำให้ร่างกายกระตุ้นกระบวนการเรนิน – แองจิโอเทนซิน (rennin – angiotensin mechanism) ซึ่งจะทำให้มีการหลั่งเรนินที่จักซตาโกลเมอรูลาร์ อัฟพาราตัส (juxtaglomerular apparatus) เรนินเป็นเอนไซม์ที่หลั่งจากไตเข้าไปในกระแสเลือด ทำหน้าที่เปลี่ยนเองจิโอเทนซิโนเจน ให้เป็นเองจิโอเทนซิน I หลังจากนั้นเอนไซม์ เองจิโอเทนซินคอนเวอทติง (angiotensin converting enzyme : ACE) จะเปลี่ยนเองจิโอเทนซิน I ให้เป็นเองจิโอเทนซิน II ที่ปอด เมื่อสารน้ำในร่างกายต่ำกว่าปกติ ระบบเรนิน – เองจิโอเทนซิน จะไปกระตุ้นหลอดเลือดทำให้หลอดเลือดหดรัดตัวและกระตุ้นการหลั่งแอลโดสเตอโรนที่ต่อมหมวกไตส่วนนอกทำให้เพิ่มปริมาณของโซเดียมและน้ำมากขึ้น ปริมาณเลือดจะเพิ่มขึ้น




รูปที่ 6-28 แสดงการทำงานของแอลโดสเตอโรนตามการควบคุมของกระบวนการเรนิน – แอนจิโอเทนซิน

**ความผิดปกติของ Aldosterone**

**=> ฮอร์โมนมากเกินไป** ซึ่งอาจเกิดจากเนื้องอก หรือได้รับมินเนอราโลคอร์ติคอยด์เกินขนาด จะเกิดภาวะโซเดียมในร่างกายมีมากเกินไป (hypernatremia) และทำให้โปตัสเซียมในร่างกายน้อย (hypokalemia) เกิดภาวะร่างกายเป็นด่าง (metabolic alkalosis) ปริมาณพลาสมาจะเพิ่มขึ้น ความดันโลหิตจะสูงขึ้น

**=> ฮอร์โมนน้อยเกินไป** มักมีสาเหตุเหมือนกับการขาดกลูโคคอร์ติคอยด์ เช่น ในโรคแอดดิสัน (Addison's disease) ถ้าเกิดเนื่องจากขาดแอลโดสเตอโรนอย่างเดียวมักมีอาการขาดน้ำ ความดันโลหิตต่ำ ระดับโซเดียมในเลือดต่ำ (hyponatremia) ระดับโปตัสเซี่ยมสูงเกินไป (hyperkalemia) และเลือดมีความเป็นกรด (acidosis) ซึ่งเป็นอันตรายถึงชีวิต

**ฮอร์โมนเพศชาย Androgen**

สร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอกชั้นในสุด สร้างฮอร์โมนเพศชายที่มีผลต่อร่างกายน้อยกว่าที่ผลิตจากอัณฑะ มีปริมาณทั้งหมดประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของฮอร์โมนเพศชายทั้งหมด โดยจะถูกเปลี่ยนเป็นเทสโทสเทอโรน ที่เป็นรูปที่ออกฤทธิ์

**หน้าที่ของ Androgen**

สร้างจากต่อมหมวกไตชั้นนอกที่อยู่ในสุด มีผลต่อร่างกายน้อยมากเมื่อเทียบกับแอนโดรเจนที่สร้างจากอัณฑะ (15%) จึงไม่พบความผิดปกติในผู้ใหญ่ ยกเว้นในเด็ก อาจมีอาการ ดังนี้

**1. Precocious pseudopuberty** เกิดในเพศชาย ทำให้เข้าสู่วัยรุ่นเร็วกว่าปกติ เช่น มีหนวด เครา เสียงห้าว แต่ยังไม่มีการสร้างสเปอร์ม

**2. Secondary male sexual characteristic (Virilism)** พบในหญิงวัย มีลักษณะที่เกิดจากฮอร์โมนเพศชายมากกว่าปกติ เช่น กล้ามเนื้อใหญ่ตามแขนขา ไม่มีประจำเดือน มีขนตามลำตัวและใบหน้า มีหนวดเครา หัวเถิกล้าน ผิวมันเป็นสิว พฤติกรรมคล้ายชาย

## 2. ต่อมหมวกไตชั้นใน (Adrenal medulla)

ต่อมหลั่งฮอร์โมนแคทีโคลามีน (catecholamine) จาก chromaffin cells ในอัตราสูง เมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะคับขัน เคร่งเครียด ตื่นเต้น ต่อสู้ ตกใจ หนีภัย กลัว หิว เจ็บปวด ออกกำลังกายอย่างหนัก โดยร่างกายจะตอบสนองต่อฮอร์โมนด้วยปฏิกิริยาสู้หรือหนี (Fight or Flight reaction) ต่อมทำงานร่วมกับประสาทซิมพาเทติก ฮอร์โมนออกฤทธิ์ได้เร็วมากและจบอย่างรวดเร็วมากเช่นกัน

ต่อมหลั่งฮอร์โมนแคทีโคลามีน 2 ชนิด คือ เอพิเนฟริน (Epinephrine, E) ในปริมาณ 85% และ นอร์เอพิเนฟริน (Norepinephrine, NE) ในปริมาณ 15% ซึ่งโดยปกติแคทีโคลามีนพบได้ที่ประสาทซิมพาเทติก หากต่อมหมวกไตชั้นในไม่หลั่งแคทีโคลามีน ก็ไม่มีอันตรายต่อชีวิต

**หน้าที่ของฮอร์โมนแคทีโคลามีน**

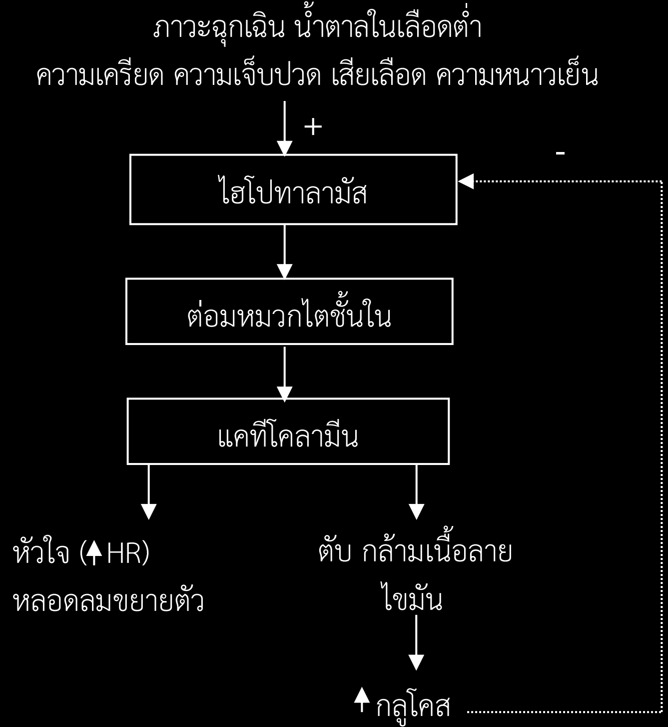
1. ผลต่อระบบไหลเวียนโลหิต ในภาวะฉุกเฉินจะมีการปรับให้เลือดไปเลี้ยงอวัยวะที่ต้องเตรียม พร้อม เช่น สมองและกล้ามเนื้อ หัวใจจะเต้นเร็วแรง หลอดเลือดแดงเล็กตีบตัว ทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้น มีการกระตุ้นการดูดกลับน้ำและโซเดียม เลือดส่วนใหญ่จะอยู่ในระบบไหลเวียนส่วนกลาง เพื่อเลี้ยงอวัยวะที่สำคัญที่สุด เพิ่มความเร็วและความแรงของการหายใจโดยมีผลโดยตรงที่ศูนย์ควบคุมการหายใจ ทำให้กล้าม เนื้อเรียบที่หลอดขยายตัว ผลทำให้หลอดลมขยายตัว นอกจากนี้ยังทำให้รูม่านตาขยายโต สมองตื่นตัว

2. เพิ่มเมทาบอลิซึม โดยเร่งการสลายไกลโคเจน (glycogenolysis) เร่งการใช้กลูโคสให้เป็นพลังงาน และสามารถเพิ่มการใช้ออกซิเจนได้ถึง 30% เร่งการสลายเนื้อเยื่อไขมันได้กรดไขมันมากขึ้น กระตุ้นตับให้เปลี่ยนกรดอะมิโนเป็นกลูโคส และเพิ่มอัตราการเผาผลาญของร่างกายได้ความร้อนสูงขึ้น

3. เมทาบอลิซึมของอิเล็กโตรลัยท์ โดยการดูดกลับโซเดียมและน้ำโดยกระตุ้นเรนินแองกิโอเทนซิน ทำให้มีการหลั่ง aldosterone และกระตุ้นการหลั่ง vasopressin ทำให้ดูดน้ำกลับเพิ่มขึ้น

**การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนแคทีโคลามีน**

การหลั่งฮอร์โมนนี้เกิดจากการกระตุ้นของกระแสประสาทซิมพาเทติกจากไฮโพทาลามัส หรือประสาทอัตโนมัติและคอร์ติโคโทรปิน รีลิสซิงฮอร์โมน (corticotrophin releasing hormone: CRH) มีผลทำให้เซลล์โครมาฟฟิน (chromaffin cell) หลั่งแคททีโคลามีนออกมา ซึ่งจะไปกระตุ้นการสร้างกลูโคสทำให้น้ำตาลในกระแสเลือดสูงขึ้น และระดับน้ำตาลที่สูงขึ้นนี้จะไปยับยั้งไฮโพทาลามัสลดการหลั่งแคททีโคลามีน




รูปที่ 16-29 แสดงการควบคุมการหลั่งแคทีโคลามีน

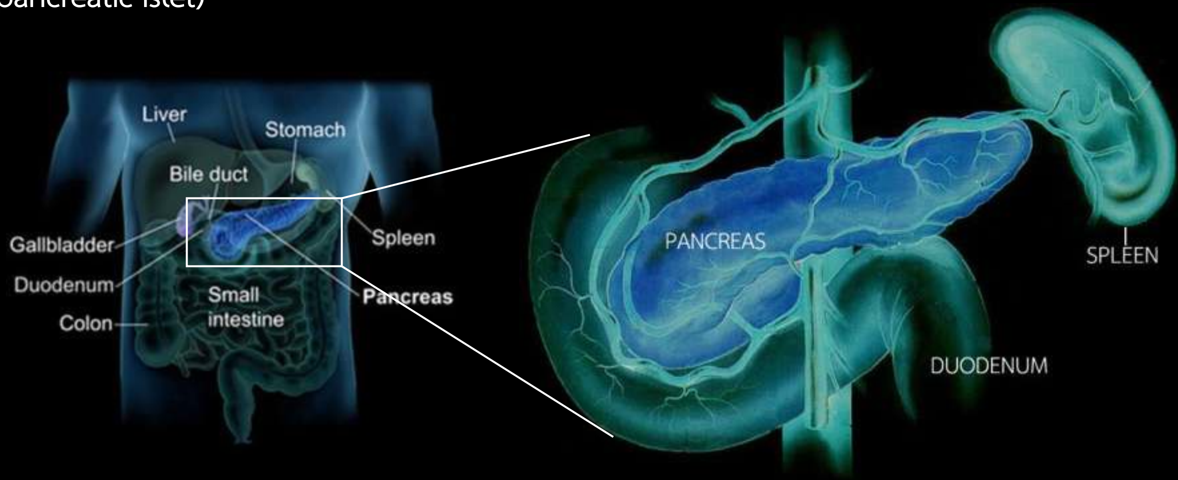
**ความผิดปกติ**

ไม่พบความผิดปกติใด ๆ ถ้าต่อมหมวกไตชั้นในหลั่งฮอร์โมนน้อย แต่ถ้ามีการหลั่งฮอร์โมนมาก จะทำให้เกิดโรคเรียกว่า **Pheochromocytoma** ซึ่งเกิดจากเนื้องอกของต่อมหมวกไตชั้นใน พบได้น้อยประมาณ 0.05-0.1% ของผู้ป่วยที่มีความดันโลหิตสูง ผู้ป่วยจะมีอาการปวดหัว ใจสั่น หัวใจเต้นเร็วแรง หลอดเลือดตีบตัว เกิดความดันเลือดสูง ลักษณะสำคัญคือ เป็นแบบไม่คงที่และสูงเป็นครั้งคราว แต่ละครั้งเกิดเฉียบพลันและอาการก็หายไปทันทีเช่นกันในช่วงไม่กี่นาที นอกจากนี้ยังพบอาการอ่อนเพลีย เหงื่อออก แน่นหน้าอก คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง มือสั่น ตาพร่ามัว ม่านตาขยาย พบสารที่เป็นเมตาบอไลท์ของอีพิเนฟริน และนอร์อีพิเนฟริน ได้แก่ Vanillyl mandelic acid (VMA) ในปัสสาวะ

************************************

## ตอนที่ 7
## ตับอ่อน (Pancreas)

ตับอ่อนเป็นอวัยวะที่เป็นทั้งต่อมมีท่อและต่อมไร้ท่อในอวัยวะเดียวกัน ในส่วนที่เป็นต่อมมีท่อสร้างน้ำย่อยในระบบย่อยอาหาร ส่วนที่เป็นต่อมไร้ท่อหลั่ง (endocrine pancreas) ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ เรียกว่า **Islet of Langerhans (pancreatic islet)**




รูปที่ 16-30 กายวิภาคศาสตร์ของตับอ่อน

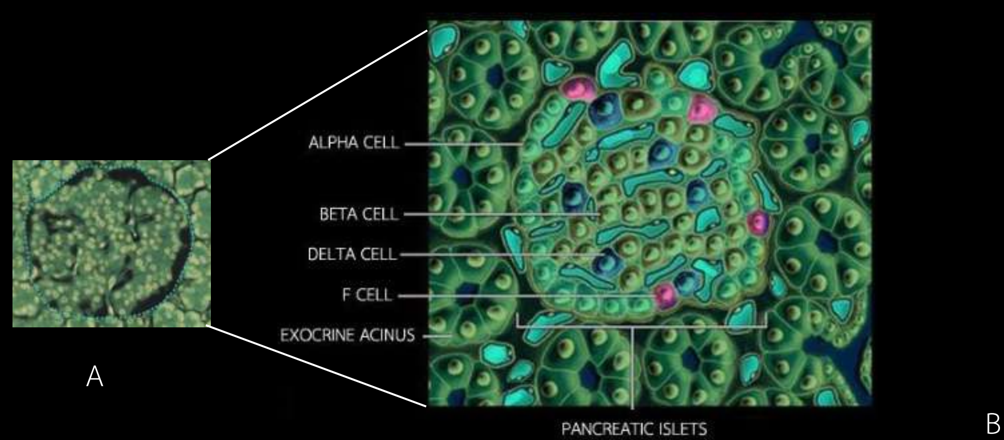
กลุ่มเซลล์ islet of Langerhans ตั้งชื่อตาม Paul Langerhan แพทย์ชาวเยอรมัน ผู้ค้นพบกลุ่มเซลล์ชนิดนี้เมื่อปี ค.ศ.1869 พบที่ส่วนหางของตับอ่อน และพบเซลล์สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่

**1. Alpha cells** พบประมาณ 20% หลั่งฮอร์โมน glucagon ทำหน้าที่เพิ่มกลูโคสในเลือด โดยไปกระตุ้นตับเปลี่ยนไกลโคเจนเป็นกลูโคส

**2. Beta cells** พบประมาณ 70% หลั่งฮอร์โมน insulin ทำหน้าที่ลดกลูโคสในเลือด โดยนำกลูโคสเข้าเซลล์

**3. Delta cells** หลั่งฮอร์โมน somatostatin ยับยั้งการหลั่ง insulin และ glucagon ไม่ให้มากเกินไป

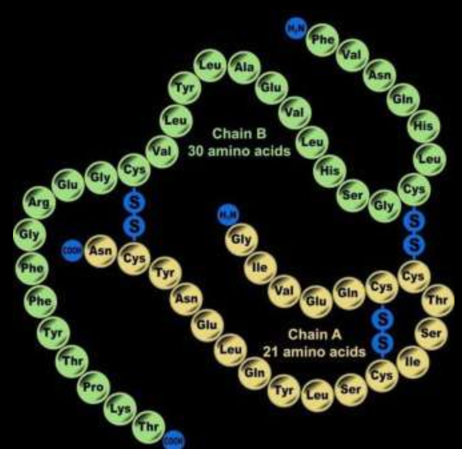
**4. F cells** หลั่งฮอร์โมน pancreatic polypeptide ควบคุมการหลั่งน้ำย่อยอาหารของตับอ่อน




รูปที่ 16-31 แสดงกายวิภาคของ islet of Langerhans จากกล้องจุลทรรศน์ (A) และภาพวาดเซลล์ในตับอ่อน (B)

## ฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin)

ฮอร์โมนอินซูลินเป็นฮอร์โมนประเภทเปปไทด์ สร้างมาจากเบตาเซลล์ของไอเลตส์ออฟแลงเกอร์ฮานส์ (Islets of Langerhans) โมเลกุลแรกที่สังเคราะห์มาจะมีขนาดใหญ่เรียกว่า โพรอินซูลิน (proinsulin) ประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งหมด 51 หน่วย แบ่งเป็นสาย เอ (A chain) ประกอบด้วยกรดอะมิโน 21 หน่วย สายบี (B chain) ประกอบด้วยกรดอะมิโน 30 หน่วย ทั้ง 2 สายเชื่อมด้วยเปปไทด์เชื่อม (connecting peptide หรือ C peptide) หลังจากนั้นจะมีการตัดโมเลกุลบางส่วนของส่วนนำออก เหลือเป็นอินซูลิน (insulin) และม้วนตัวเชื่อมด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) 3 ที่ ซึ่งเป็นรูปที่ยังไม่ทำงาน เมื่อร่างกายต้องการใช้จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ ทริปซิน (trypsin) เพื่อตัดเอาเปปไทด์เชื่อม (connecting peptide) ออกได้เป็นอินซูลิน




รูปที่ 16-32 แสดงโครงสร้างของอินสุลิน

**ระดับน้ำตาลในเลือด**

โดยปกติระดับน้ำตาลในเลือดมีค่าค่อนข้างคงที่ คือประมาณ 80-100 มก.% โดยที่สารอาหารที่ร่างกายได้รับไม่จำเป็นที่จะต้องมีคาร์โบไฮเดรทเท่ากันเสมอ เพราะสารอาหารต่างๆ สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้เสมอ ถ้าระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดต่ำกว่า 60 มก.% (Hypoglycemia) ทำให้ประสาทส่วนกลางได้รับกลูโคสไม่เพียงพอ ทำให้มีอาการวิงเวียน มึนงง หน้ามืด ชัก หมดสติ และตายได้ แต่ถ้ากลูโคสในเลือดสูงกว่าปกติ (Hyperglycemia) คือสูงกว่า 300-400 มก.% จะทำให้ในปัสสาวะมีน้ำตาลมาก ต่อมาเกิดภาวะขาดน้ำ กระหายน้ำบ่อย ความเป็นกรดในเลือดสูงขึ้น หายใจหอบ ความดันโลหิตต่ำลง ไตไม่ทำงานและถึงแก่ความตายในที่สุด

**หน้าที่ของอินสุลิน**

อินซูลิน มีผลต่อเซลล์เกือบทุกชนิดในร่างกาย เป้าหมายหลัก คือ ตับ กล้ามเนื้อลาย และเนื้อเยื่อไขมัน ดังนี้

**1. ผลต่อเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรท** เร่งการส่งผ่านกลูโคสเข้าเซลล์ต่างๆ ที่ตอบสนองต่ออินซูลิน เช่น เซลล์กล้ามเนื้อลาย เนื้อเยื่อไขมัน

**2. ช่วยกระตุ้นการสร้างไกลโคเจน** (Glycogenesis) เก็บสะสมไว้ในตับและกล้ามเนื้อ โดยการกระตุ้นผ่านเอ็นไซม์ glycogen synthetase

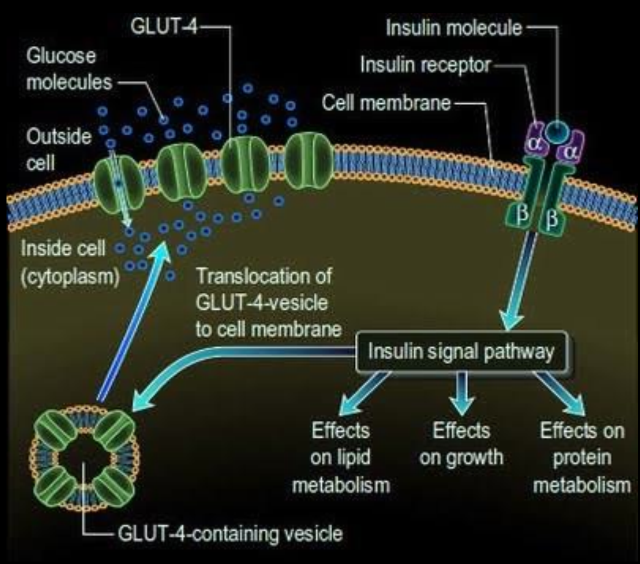
**3. ผลต่อเมทาบอลิซึมของโปรตีน** ส่งเสริมการขนถ่ายกรดอะมิโนเข้าเซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ตับ ทำให้มีการสังเคราะห์โปรตีนมากขึ้น (proteogenesis) และยับยั้งการสลายตัวของกรดอะมิโนเป็นน้ำตาลกลูโคส

**4. ผลต่อเมทาบอลิซึมของไขมัน** กระตุ้นให้มีการขนถ่ายกลูโคสเข้าเซลล์เพื่อสร้างเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล ซึ่งรวมเป็น ไทรกลีเซอรายด์เก็บไว้ในเซลล์ไขมัน

**5. กระตุ้นการเก็บโปตัสเซี่ยมเข้าเซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ไขมัน**

**กลไกการออกฤทธิ์ของอินซูลิน**

อินซูลินจะจับกับตัวสัญญาณที่เยื่อเซลล์ ซึ่งตัวรับสัญญาณเป็นโปรตีน ประกอบด้วยหน่วยแอลฟ่า และ เบต้า อย่างละ 2 หน่วย โดยหน่วยแอลฟ่าจะยื่นออกไปนอกเซลล์และเชื่อมกับหน่วยเบต้าด้วยพันธะ sulfide bond เมื่ออินซูลินจับกับหน่วยแอลฟ่า ทำให้หน่วยเบต้าจับกับฟอสเฟต มีผลกระตุ้นไทโรซีนไคเนส (Tyrosine kinase) ที่ติดกับหน่วยเบต้า ทำให้มีผลเติมฟอสเฟตให้กับสารเร่งปฏิกิริยาหลายอย่างภายในเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ซึ่งเป็นการตอบสนองของเซลล์




รูปที่ 16-33 แสดงตัวรับอินซูลิน (Insulin receptor)

นอกจากนี้การเติมฟอสเฟตของตัวรับสัญญาณทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับ G-protein เพื่อไปกระตุ้นฟอสโฟไลเปสซี (Phospholipase C) สร้างตัวสื่อสัญญาณที่ 2 เช่น $IP_3$ และ DG และการเติมฟอสเฟตของตัวรับสัญญาณยังกระตุ้นตัวขนส่งกลูโคสด้วย กลูโคสจะขนส่งเข้าเซลล์โดยตัวขนส่งกลูโคส (Glucose transporter, Glu T) ซึ่งมี 5 ชนิด คือ Glu $T_1$ - Glu $T_5$ ซึ่งพบในเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย โดนขนส่งกลูโคสตามความลาดชันของกลูโคส

**การควบคุมการหลั่งอินซูลิน**

กลูโคสเป็นตัวกระตุ้นการหลั่งอินซูลินที่แรงที่สุด ปกติกลูโคสในเลือดมีค่าประมาณ 80-110 มก.% ถ้าระดับกลูโคสในเลือดมีค่าสูงกว่านี้ จะกระตุ้นให้มีการหลั่งอินซูลินเพื่อเอากลูโคสไปใช้ที่เนื้อเยื่อต่างๆ จนระดับน้ำตาลในเลือดลดลง ตัวแปรอื่นที่มีผลกระตุ้น เช่น ฮอร์โมน secretin, gastrin, Cholecystokinin จากลำไส้ ยาพวก Sulfonylurea เป็นต้น

ในทางตรงข้ามถ้าระดับกลูโคสในเลือดลดลงต่ำกว่าระดับปกติ จะยับยั้งการหลั่งอินซูลิน แต่จะมีการกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนกลูคากอน นอกจากนี้ ภาวะเครียด สารเคมี alloxan, Acetylcholine, Epinephrine, Norepinephrine ก็มีผลยับยั้งการหลั่งอินซูลิน

อินซูลินถูกทำลายที่ตับประมาณ 80% ดังนั้นในผู้ป่วยที่ผิดปกติ เช่น โรคตับแข็ง อินซูลินจะไม่ถูกทำลาย ทำให้ผู้ป่วยมีกลูโคสในเลือดต่ำ

**ความผิดปกติ**

**1. ภาวะพร่องอินสุลิน**

**โรคเบาหวาน (Diabetes mellitus, DM)** เป็นโรคที่เกิดจาดการการขาดอินซูลิน เนื่องจากตับอ่อนไม่สามารถสร้างอินซูลินหรือสร้างได้ไม่พอเพียงกับความต้องการของร่างกาย ร่างการต้องการตับอ่อนมากกว่าปกติ การตัดตับอ่อน เซลล์ตับอ่อนถูกทำลายโดยสารเคมี หรือเนื้อเยื่อไม่ตอบสนองต่อตับอ่อน เป็นต้น จึงพบน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ (Hyperglycemia) กลูโคสที่กรองผ่านไตมีปริมาณสูง ทำให้พบน้ำตาลในปัสสาวะ (Glucosuria) เมื่อมีกลูโคสในปัสสาวะมากเกินไป ทำให้มีปัสสาวะบ่อย (Polyuria) จากการเกิด osmotic diuresis ทำให้ผู้ป่วยสูญเสียทั้งน้ำ โซเดียม โปตัสเซี่ยม ผู้ป่วยจะหิวน้ำมากจากการขาดน้ำ ทำให้ผู้ป่วยดื่มน้ำมาก (Polydipsia) เพื่อทดแทน ร่างกายเสียพลังงานงานมาก ผู้ป่วยจะหิวบ่อย ทำให้กินจุ (Polyphagia) ในเลือดมีระดับกลูโคสมากขึ้น แต่ขนส่งเข้าเซลล์ไม่ได้

การขาดอินซูลินทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะของการสลายสารอาหาร เช่น ไกลโคเจนถูกสลายเป็นกลูโคส โปรตีนจะสลายจากกล้ามเนื้อได้กรดอะมิโน ทำให้น้ำหนักลด กล้ามเนื้อไม่มีแรง และร่างกายก็ไม่สามารถจะนำสารต่างๆ เหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ ผู้ป่วยเหมือนมีภาวะขาดสารอาหาร ไขมันถูกสลายได้กรดไขมันและกลีเซอรอล การสันดาปไขมันในตับได้สาร Ketone ออกมาในเลือด (Ketonemia) ซึ่งทำให้เกิดภาวะเลือดเป็นกรด (Ketoacidosis) ร่วมกับภาวะขาดนี้จะกดการทำงานของสมอง หมดความรู้สึก และเสียชีวิตได้

เนื่องจากเบาหวานทำให้เกิดความผิดปกติของเมทาบอลิซึมของสารอาหาร ซึ่งจะนำไปสู่ภาวะ แทรกซ้อนที่อวัยวะต่างๆ เช่น เส้นเลือดฝอยจะหนาแต่เปราะ ผู้ป่วยเป็นต้อหินหลอดเลือดฝอยในไตหนาตัวซึ่งมีผลต่อการทำงานของไตและการกรอง (Nephropathy) มีการสูญเสียโปรตีนในปัสสาวะ (Proteinuria) ระดับโปรตีนในเลือดจะลดต่ำลง ความดันโลหิตสูงขึ้น บวมน้ำและไตวายในที่สุด การทำงานของประสาทผิดปกติ (Neuropathy) รู้สึกเจ็บๆ คันๆ ที่ปลายนิ้วมือและเท้า มีไขมันไปอุดกั้นหลอดเลือด ทำให้เลือดไปเลี้ยงขาไม่เพียงพอ ทำให้เกิดเนื้อเยื่อตาย

ชนิดของเบาหวาน แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

**1. Type I diabetes (Insulin-dependent diabetes mellitus (IDDM)** เป็นเบาหวานที่เกิดจากการขาดอินซูลินแต่กำเหนิด ส่วนใหญ่เกิดจากการที่เบตาเซลล์ถูกไวรัส หรือถูกภูมิคุ้มกันของตนเอง (autoimmune disease) ทำลาย ทำให้สร้างอินซูลินไม่ได้ และส่วนหนึ่งเกิดจากกรรมพันธุ์ มักพบว่าเป็นเบาหวานตั้งแต่เด็ก (juvenile onset) การรักษาโดยการต้องฉีดฮอร์โมนอินซูลินให้ทดแทน

**2. Type II diabetes (Non insulin-dependent diabetes mellitus (NIDDM)** เบาหวานชนิดที่รักษาไม่ได้ด้วยอินซูลิน สาเหตุของการเกิดยังไม่ทราบแน่นอน อาจเกิดจากการอินซูลินออกฤทธิ์ที่อวัยวะเป้าหมายไม่ได้หรือมีการหลั่งอินซูลินลดน้อยลง มักค่อยๆ เกิด พบในผู้ที่มีอายุมากขึ้นแล้ว คนอ้วน ปัจจัยเสี่ยงได้แก่ กรรมพันธุ์ การรักษา โดยการใช้ยา ควบคุมอาหาร การออกกำลังกาย และการอินสุลิน เพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนรุนแรงที่อาจเกิดขึ้น

**2. ภาวะอินซูลินมากเกิน (Hyperinsulinism)**

เป็นภาวะที่อินซูลินมากเกินไป สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการฉีดยาอินซูลินเกินขนาด ส่วนน้อยเนื่องจากมีเนื้องอกของ islet of Langerhans เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ ทำให้มีอาการกระวนกระวาย เหงื่อออก ใจสั่น ชีพจรเต้นเร็ว หิวบ่อย นอกจากนี้ยังมีอาการทางสมอง เช่น หมดสติ และ ช็อค ผู้ป่วยอาจเสียชีวิตได้ถ้าไม่ได้รับกลูโคสอย่างทันท่วงที

## ฮอร์โมนกลูคากอน (Glucagon)

Glucagon เป็นฮอร์โมนที่สร้างจาก A cell ของตับอ่อน เป็นฮอร์โมนที่ช่วยในการทำลายสารชีวโมเลกุลสลายกลูโคส กรดไขมันและโปรตีนทำให้เพิ่มระดับน้ำตาลในกระแสเลือด มีผลการทำงานตรงกันข้ามกับฮอร์โมนอินซูลินจึงเรียก Glucagon ว่าเป็นฮอร์โมนแห่งการอดอาหาร (Hormone of fasting)

**หน้าที่ของ Glucagon**

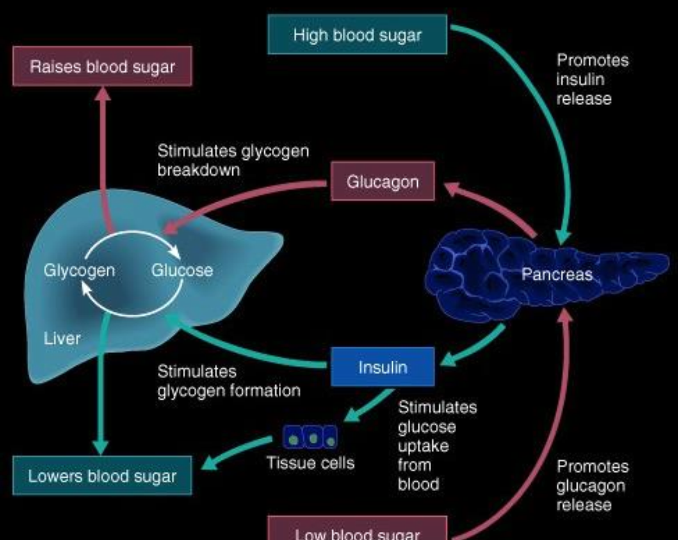
**1. ฤทธิ์ต่อเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต** กระตุ้นการสลายของไกลโคเจน (glycogenolysis) ในตับ เปลี่ยนไกลโคเจนเป็นกลูโคส และยับยั้งการเปลี่ยนกลูโคสที่ตับเป็นไกลโคเจนลดน้อยลง

**2. ฤทธิ์ต่อเมแทบอลิซึมของโปรตีน** กระตุ้นการสลายโปรตีน (proteolysis) เปลี่ยนกรดอะมิโนให้เป็นกลูโคส โดยกระตุ้นการนำส่งกรดอะมิโนมาใช้ที่ตับในขบวนการสร้างกลูโคส (gluconeogenesis)

**3. ฤทธิ์ต่อเมแทบอลิซึมของไขมัน** กระตุ้นการสลายไขมัน (lipolysis) ในตับและที่เนื้อเยื่อไขมัน ส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ไลเปส (lipase) ทำให้ได้กรดไขมันอิสระออกมา และกระตุ้นการนำส่ง กรดไขมันเข้าสู่ตับและกล้ามเนื้อ และยังช่วยการเผาผลาญกรดไขมัน

**การควบคุมการหลั่ง Glucagon**

การหลั่งกลูคากอนถูกควบคุมโดยตรงด้วยระดับน้ำตาลในกระแสเลือด เมื่อระดับน้ำตาลต่ำกว่าปกติ จะกระตุ้นแอลฟา เซลล์ให้หลั่งกลูคากอนจนระดับน้ำตาลสูงเท่าปกติ การกระตุ้นแอลฟาเซลล์จึงหยุดลง




รูปที่ 16-34 แสดงกลไกการควบคุมการหลั่งอินสุลินและกลูคากอน

กลูคากอนจะหลั่งเพิ่มขึ้นเมื่อมีการกระตุ้นประสาทซิมพาเทติกที่มายังไอเลตส์ออฟแลงเกอร์ฮานส์ ความเครียดจะกระตุ้นการหลั่งกลูคากอนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การหลั่งกลูคากอนถูกยับยั้งโดยโซมาโทสแททิน

อินซูลินกดการหลั่งกลูคากอน จึงมักพบกลูคากอนเพิ่มสูงในผู้ป่วยที่ขาดอินซูลิน ทำให้อาการของเบาหวานรุนแรงมากขึ้น

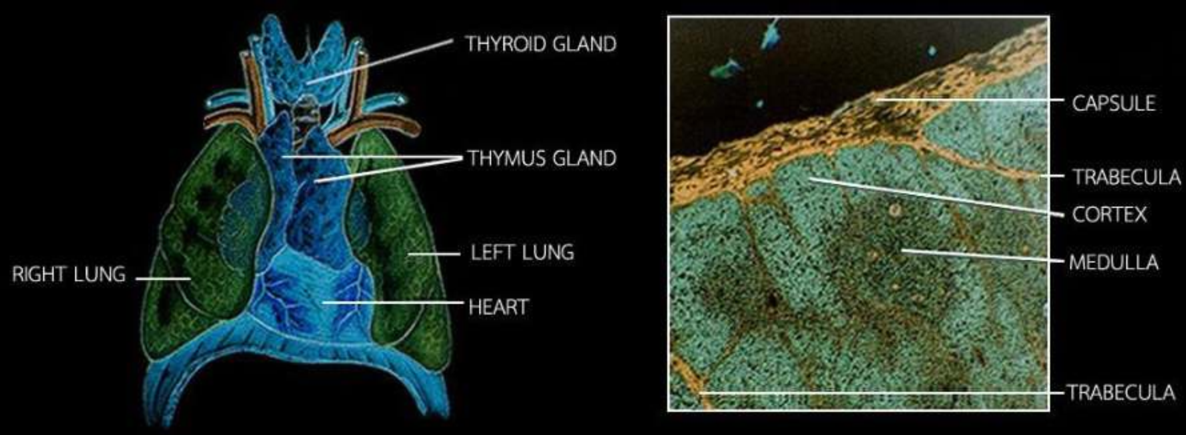
**ความผิดปกติ**

ไม่ค่อยมีรายงานความผิดปกติของโรคอันเนื่องมาจากการขาดกลูคากอน ในกรณีของฮอร์โมนเกินทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูง อาจเป็นสาเหตุหนึ่งของผู้ป่วยโรคเบาหวาน

## ตอนที่ 8

## ต่อมไทมัส (Thymus gland)

ต่อมไทมัสประกอบด้วย 2 กลีบ (lobe) อยู่ที่ส่วนบนของเนื้อกลางอก ขนาดของต่อมแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล ต่อมจะมีขนาดใหญ่ในทารกแรกเกิด และโตมากที่สุดในช่วงวัยหนุ่มสาว หลังจากนั้นจะเริ่มเสื่อมสภาพ เป็นพังผืดและเนื้อเยื่อไขมัน มีขนาดเล็กลง แต่ก็ยังทำงานต่อไปได้ ต่อมไทมัสเป็นที่สร้างฮอร์โมน **thymosin**




รูปที่ 16-35 แสดงกายวิภาคของต่อมไทมัส

**หน้าที่**

ไทโมซินทำหน้าที่กระตุ้นการแบ่งเซลล์เม็ดเลือดขาวประเภทลิมโฟไซท์ (lymphocyte หรือ T cell) ที่ยังอ่อนอยู่ (immature lymphocyte) แล้วปรับสภาพไปเป็นลิมโฟไซท์ที่เจริญเต็มที่ (mature lymphocyte)

ลิมโฟไซท์ที่เจริญเต็มที่แล้วจะออกจากต่อมไทมัสไปอยู่บริเวณม้ามและ ต่อมน้ำเหลืองทั่วร่างกาย ทำหน้าที่สร้างภูมิคุ้มกันโรคเนื่องจากการกระทำของเซลล์ (cellular immunity) คือทำหน้าที่เกี่ยวกับปฏิกริยาภูมิแพ้ และการไม่ยอมรับเนื้อเยื่อแปลกปลอมที่ปลูกถ่ายกับร่างกาย ป้องกันการติดเชื้อจากเชื้อโรคต่างๆ เช่น เชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา

ต่อมไทมัสจะไวต่อการติดเชื้อ รังสี การเจ็บป่วยมาก พบว่าถ้ามีการติดเชื้อนานๆ เมื่อหายแล้วต่อมไทมัสจะมีขนาดเล็กลงเล็กน้อย

**ความผิดปกติ**

การฝ่อของต่อมตั้งแต่แรกเกิด จะเกิดกลุ่มอาการ เรียกว่า congenital thymic aplasia (DiGeorge syndrome) ร่างกายจะขาด thymosin และ T-Lymphocyte ทำให้เด็กเสียชีวิตจากการติดเชื้อ

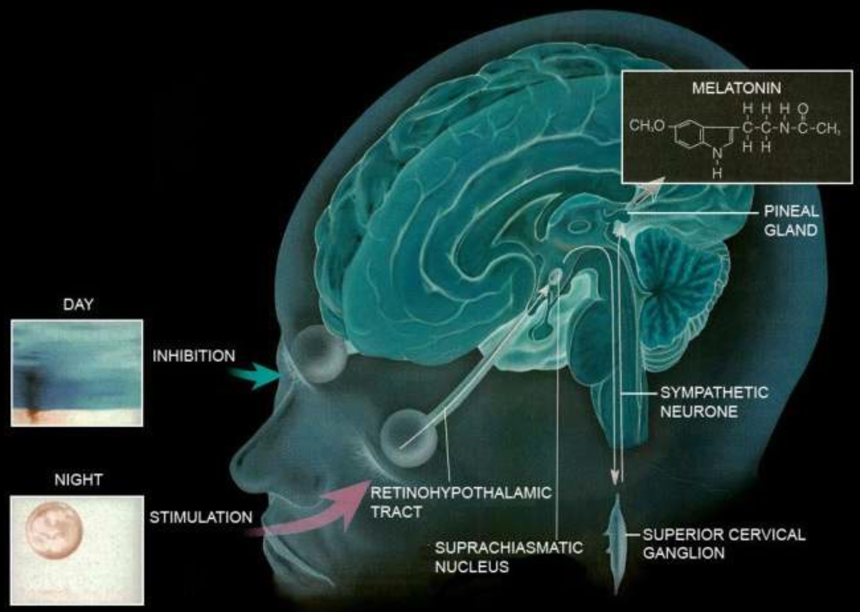
***********************************

## ตอนที่ 9
## ต่อมไพนีล (Pineal gland)

ต่อมไพนีลมีขนาดเล็ก รูปร่างคล้ายรูปกรวย น้ำหนักประมาณ 0.2 กรัม ติดอยู่กับส่วนหลังคาของช่องสมองที่สาม ต่อมมีแคปซูลหุ้ม ซึ่งเป็นพังผืดที่ต่อเนื่องมาจากเยื่อหุ้มสมองชั้นใน ต่อมไพนีลจะเริ่มมีขนาดเล็กลงเมื่ออายุได้ 7 ขวบ ในผู้ใหญ่จะเห็นเป็นพังผืดหนาๆ เท่านั้น เนื้อต่อมประกอบไปด้วยเซลล์สำคัญ 2 ชนิด คือ

**1. Neuroglial cells** เป็นเซลล์ค้ำจุนประสาท เซลล์มีขนาดเล็ก พบประมาณร้อยละ 5

**2. Pinealocytes** เซลล์มีนิวเคลียสใหญ่ เรียงตัวเป็นกลุ่มรอบหลอดเลือดฝอย เซลล์ทำหน้าที่ในการหลั่งฮอร์โมน เรียกว่า **melatonin**




รูปที่ 16-36 แสดงกายวิภาคของต่อมไพนีล

**หน้าที่ของ melatonin**

**1. การพัฒนาระบบอวัยวะสืบพันธุ์** มีบางคนเชื่อว่าเมลาโทนินมีผลต่อการสร้างโกนาโดโทรปินรีลิสซิ่งฮอร์โมน (GnRH) แม้ว่ายังไม่มีข้อสรุปชัดเจนเกี่ยวข้องกับขบวนการหลั่งของเมลาโทนิน แต่มีความเชื่อว่าน่าจะระงับการหลั่ง โกนาโดโทปิน รีลิสซิ่งฮอร์โมนจากไฮโพทาลามัส และควบคุมการทำงานของอวัยวะสืบพันธุ์ โดยจะมีการยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนเพศ เช่น ในช่วงที่มีฤดูหนาวที่มีกลางคืนยาวนาน ผู้หญิงชาวเอสกิโมจะไม่มีประจำเดือน และถ้ามีฮอร์โมนนี้มากจะทำให้เป็นหนุ่มสาวช้ากว่าที่ควร ในผู้ชายจะมีอัณฑะขนาดเล็กลงได้

**2. ส่งเสริมการนอนหลับและกิจกรรมต่างๆ** ใช้ในการรักษาผู้ที่มีปัญหาการนอนไม่หลับ (sleep disorder) เช่น ผู้ทำงานเป็นเวร หรือผู้สูงอายุที่นอนไม่หลับ (elderly insomnia) แก้ไขการหลงเวลาจากการเดินทางโดยเครื่องบิน (jet lag) เมื่อไปในประเทศที่เวลาไม่เหมือนกัน เช่น เมื่อเดินทางจากประเทศไทยไปประเทศสหรัฐอเมริกาที่เวลาห่างกันประมาณ 12

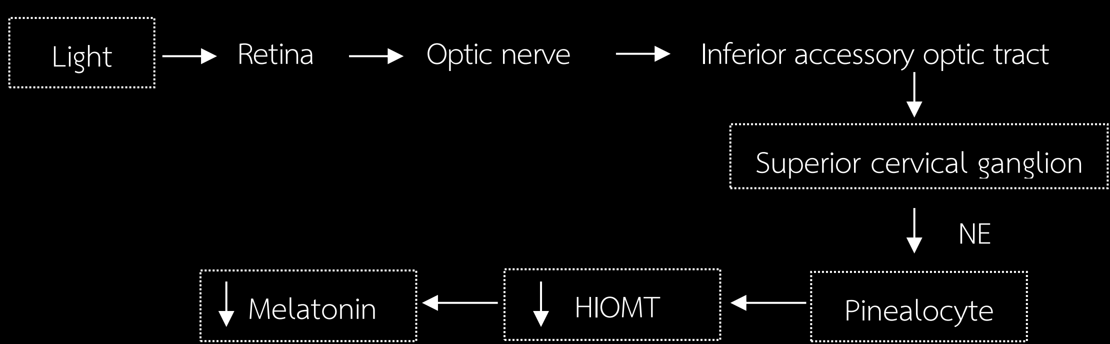
ชั่วโมง จะทำให้เวลากลางวันและกลางคืนกลับกัน ซึ่งจะทำให้นอนไม่หลับ อ่อนเพลีย ปวดศีรษะได้ ถ้าได้รับฮอร์โมนเมลาโทนินจะทำให้ปัญหาเหล่านี้หายไปหรือน้อยลง

**3. การรักษาโรคที่เกี่ยวกับอารมณ์** มีงานวิจัยหาความสัมพันธ์ระหว่างเมลาโทนินและภาวะซึมเศร้า พบว่าในประเทศที่มีฤดูหนาวที่ยาวนาน อากาศสลัวๆ ซึ่งเมลาโทนินหลั่งมากขึ้นจะมีผู้ที่มีอาการซึมเศร้ามากกว่า และเป็นเหตุผลอธิบายว่าทำไมเราจึงรู้สึกสดชื่นในวันที่ท้องฟ้าสดใส มากกว่าในช่วงที่มีอากาศสลัวๆ ของช่วงฤดูหนาว

**4. ชะลอการชราภาพ** มีบางรายงานกล่าวถึงเมลาโทนินซึ่งตัวต้านออกซิเดชัน (antioxidation) ซึ่งเป็นสารที่ป้อง กันไม่ให้เซลล์ในร่างกายถูกทำลายจากสารที่เป็นอนุมูลอิสระ (free radicals) ซึ่งมักจะไปทำปฏิกิริยาเป็นลูกโซ่และทำลายเซลล์อื่นได้มาก ทำให้เกิดโรคเรื้อรังเช่นมะเร็ง หลอดเลือดหัวใจขาดเลือด ซึ่งถ้ามีอนุมูลอิสระที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมมาก จะทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อต่างๆ ต่อเยื่อบุผิวเซลล์หรืออาจเข้าไปในนิวเคลียส ทำให้เซลล์ไม่สามารถแบ่งตัว หรือซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ทำให้เกิดการชราภาพของเซลล์ เมลาโทนินจะไปจับหรือกำจัดอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ดีและปกป้องเซลล์จากการทำลายของไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ได้ด้วย ทำให้ชะลอการชราภาพได้และมีรายงานว่าสามารถนำมาใช้ฟื้นฟูเซลล์ต่างๆ ได้ดี

**การควบคุมการหลั่งฮอร์โมน**

การหลั่งฮอร์โมนขึ้นอยู่กับปริมาณแสงสว่างตามช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน โดยที่ฮอร์โมนจะถูกสร้างในความมืดและแสงสว่างจะมีผลยับยั้ง เนื่องจากต่อมไพนีลไม่สามารถรับรู้แสงสว่างได้โดยตรง เมื่อแสงสว่างผ่านรูม่านตามากระทบเรตินา จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณประสาท โดยผ่าน suprachiasmatic nucleus ในไฮโปทาลามัส และ superior cervical ganglion ก่อนเข้าสู่ต่อมไพนีล ที่ปลายประสาทของ superior cervical ganglion จะมีการหลั่ง norepinephrine (NE) ซึ่งมีผลไปยับยั้งการทำงานเอ็นไซม์ hydroxyindole-O-methyl transferase (HIOMT) ทำให้เมลาโตนินถูกสร้างลดลง




รูปที่ 16-37 แสดงการควบคุมการสร้างเมลาโตนิน

**ความผิดปกติ**

ถ้ามีมากเกินไปจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตอวัยวะสืบพันธุ์ เนื่องจากพบว่าเมื่อเข้าสู่วัยหนุ่มสาวเมลาโทนินจะลดน้อยลง

************************************

## เอกสารอ้างอิง


บังอร ฉางทรัพย์. (2554). *กายวิภาคศาสตร์ 1*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์ และ อภิชาต สินธุบัว. (2559). *ตำรากายวิภาคศาสตร์พื้นฐานของมนุษย์*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานา.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2545). *สรีรวิทยา*. (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์ และ มนตกานต์ ตันสถิตย์. (2561). *Human Anatomy* : *กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: สามลดา.

Fox S.I. (2019). Human Physiology. ($15^{th}$ ed.). New York: McGraw-Hill.

Seeley RR, Stephens TD and Tate P. (2006). *Anatomy and Physiology*. ($7^{th}$ ed.). Boston: McGraw-Hill.

Tortora, Gerald J. and Grabowski, SR. (1996). *Principles of Anatomy and Physiology*. ($8^{th}$ ed.) NewYork: Harper Collins College.

**แผนการสอน**

**วิชา กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์**

**(Anatomy and Physiology for Emergency Medical Operation)**

------------------------------------

**ชื่อบทเรียน** การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย
(Regulation of Body Temperature)

**จำนวนชั่วโมง** 2 ชั่วโมง

**จุดประสงค์การสอน** (จุดประสงค์ทั่วไป) เพื่อให้นักเรียน

1. มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับอุณหภูมิปกติของร่างกาย การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย การปรับตัวระบบการควบคุมอุณหภูมิ ต่อความร้อน ความเย็น และพยาธิสภาพ
2. มีเจตคติที่ดีในการเรียนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยา
3. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการฉุกเฉินการแพทย์ได้

**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม** เมื่อจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. รู้แหล่งผลิตความร้อนในร่างกาย
2. บอกความแตกต่างของ อุณหภูมิปกติแกนและอุณหภูมิผิว
3. บอกปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิแกน
4. สามารถอธิบายสมดุลความร้อนในร่างกาย
5. อธิบายองค์ประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ
6. อธิบายการปรับตัวต่อความร้อน
7. อธิบายการปรับตัวต่อความเย็น
8. อธิบาย สาเหตุ/ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดพยาธิสภาพของโรค

**วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน**

1. การบรรยายในชั้นเรียน
2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม
3. การค้นคว้าด้วยตนเอง และการทำงานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. เอกสารคำสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยายของครูผู้สอน
3. สื่อ โสต ประกอบการบรรยาย
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติทดลอง/สอบปฏิบัติ

**การวัดผลและประเมินผล**

1. การสอบทบทวน
2. งานที่มอบหมาย
3. เจคคติในการเรียนการสอน

# 17

*************************************

# การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย

# (Regulation of Body Temperature)

**ตอนที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุณหภูมิปกติของร่างกาย**

1.1 แหล่งผลิตความร้อนในร่างกาย

1.2 อุณหภูมิปกติของร่างกาย

1.2.1 อุณหภูมิปกติแกน

1.2.2 อุณหภูมิปกติผิว

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิปกติแกน

1.4 สมดุลความร้อน

1.4.1 การสร้างความร้อน

1.4.2 การสูญเสียความร้อน

**ตอนที่ 2 การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย**

2.1 องค์ประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ

2.1.1 ตัวรับรู้อุณหภูมิ

2.1.2 ศูนย์ควบคุม

2.1.3 กลไกการทำงาน

2.2 กลไกการทำงานของไฮโปทาลามัส

**ตอนที่ 3 ระบบการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ในสภาวะการปรับตัว และในสภาวะที่เกิดพยาธิสภาพ**

3.1 ในสภาวะที่ปรับตัวต่อความร้อนและความเย็นที่ผิดปกติ

3.2.1 การปรับตัวต่อความร้อน

3.2.2 การปรับตัวต่อความเย็น

3.2 พยาธิสภาพ

# บทที่ 16
# การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย
# (Regulation of Body Temperature)

ว่าที่ น.อ.สุเทพ จันทร์เทศ
วทม. สรีรวิทยา

## ตอนที่ 1
## ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุณหภูมิปกติของร่างกาย
## (Normal body temperature)

อุณหภูมิของร่างกายเป็นสิ่งที่จะต้องควบคุมให้มีค่าคงที่เสมอ เพราะกระบวนการทำงานทางสรีรวิทยาต่างๆ ในร่างกาย ล้วนเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี เอนไซม์ภายในเซลล์จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ($^0$ซ) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้ความเร็วของปฏิกิริยาทางเคมีเปลี่ยนแปลงๆ ไปอย่างมาก ในทางการแพทย์จะใช้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นตัวบอกถึงสภาวะการเจ็บป่วยของร่างกาย

ร่างกายมนุษย์สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 37$^0$ซ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากก็ตาม ความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาผลาญซึ่งเกิดภายในเซลล์ ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อมตลอดเวลา อีกส่วนหนึ่งเก็บไว้เพื่อทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิคงที่ โดยใช้กลไกการควบคุมซึ่งมีศูนย์กลางอยู่ที่สมองส่วนไฮโปทาลามัส

### 1.1 แหล่งผลิตความร้อนในร่างกาย

อุณหภูมิปกติของร่างกาย หมายถึง อุณหภูมิที่วัดได้ในคนปกติที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนใด ๆ ในขณะพัก ความร้อนในร่างกายส่วนใหญ่มาจากกระบวนการ metabolism ของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย โดยเฉพาะเซลล์ของอวัยวะภายในช่องอกและช่องท้อง ซึ่งจะมีอัตรา metabolism สูง เซลล์สมองและกล้ามเนื้อลายจะสร้างความร้อนไม่มากนัก ในขณะที่เซลล์ของผิวหนังจะสร้างความร้อนได้น้อยสุด

### 1.2 อุณหภูมิปกติของร่างกาย

อุณหภูมิของร่างกาย แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ อุณหภูมิแกน (core temperature) และอุณหภูมิผิว (surface temperature)

**1.2.1 อุณหภูมิแกน (core temperature)** หมายถึง อุณหภูมิที่อยู่ในส่วนลึกของร่างกาย ซึ่งเป็นที่อยู่ของอวัยวะสำคัญในร่างกาย ความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นตลอดเวลาจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหนัง เพื่อระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก จึงทำให้อุณหภูมิของร่างกายค่อนข้างคงที่ คือ จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆ ประมาณ $\pm$ 0.6 $^0$ซ การวัดอุณหภูมิของร่างกาย สามารถวัดได้ 3 ทาง คือ

1) ทางปาก (oral temperature) อุณหภูมิที่วัดได้ทางปากจะมีค่าประมาณ 37 $^0$ซ

2) ทางทวารหนัก (rectal temperature) อุณหภูมิมีค่าประมาณ 37.6 $^0$ซ

3) ทางรักแร้ (axillary temperature) อุณหภูมิที่วัดได้ทางรักแร้จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้ทางปากเล็กน้อย

โดยปกติอุณหภูมิแกน หมายถึง อุณหภูมิที่วัดจากทางทวารหนัก แต่ในคนทั่วไปนิยมวัดทางรักแร้ เพราะมีความสะดวก ในเด็กแรกคลอดและเด็กเล็ก ใช้วิธีวัดทางทวารหนัก ส่วนในคนที่ไม่รู้สึกตัวจะวัดทางรักแร้

**1.2.2 อุณหภูมิผิว (surface temperature)** หมายถึงอุณหภูมิที่บริเวณผิวหนังและไขมันใต้ผิวหนัง เนื้อเยื่อเหล่านี้เป็นแหล่งระบายความร้อนของร่างกาย และยังทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อน ผิวหนังช่วยควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าคงที่ โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณเลือดที่ไหลมายังผิวหนัง ในสภาวะที่อากาศร้อน หลอดเลือดที่ผิวหนังทั่วร่างกายจะขยายตัว ความร้อนจากแกนจึงถูกพามาถ่ายเทออกที่ผิวหนังได้มาก แต่ในสภาวะที่อากาศเย็น หลอดเลือดที่ผิวหนังและเนื้อเยื่อใต้ผิวหนังจะหดตัวทำให้ชั้นของเปลือกหนาตัวขึ้น เลือดที่มาหล่อเลี้ยงผิวหนังจะน้อยลง เพื่อรักษาอุณหภูมิแกนให้มีค่าคงที่ที่ 37 $^{0}$ซ

อุณหภูมิร่างกาย เป็นผลรวมของอุณหภูมิแกน (70%) และอุณหภูมิผิว (30%) โดยทั่วไปอุณหภูมิแกนจะเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ ในขณะที่อุณหภูมิผิวมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงกว้างๆ ทั้งนี้ ร่างกายใช้กลไกทางสรีรวิทยาและการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมต่างๆ เพื่อช่วยให้อุณหภูมิคงที่

### 1.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิแกน

อุณหภูมิปกติของแต่ละคนมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อายุ การออกกำลังกาย รอบประจำเดือน หรือโรคบางชนิด เป็นต้น ปกติอุณหภูมิทางปากจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่วัดได้ทางทวารหนัก ประมาณ 0.6 $^{0}$ซ อุณหภูมิปกติของเด็กจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติของผู้ใหญ่เล็กน้อย อุณหภูมิแกนของผู้สูงอายุมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ในตอนเช้าหรือเมื่ออากาศเย็นอุณหภูมิของร่างกายมีค่าต่ำกว่าปกติ แต่ในขณะที่ออกกำลังกายอย่างหนักอุณหภูมิของร่างกายจะสูงขึ้น 2-3 $^{0}$ซ เป็นความร้อนที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อลาย

อุณหภูมิแกนมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นรูปแบบในรอบ 24 ชม. เรียกว่า diurnal rhythm หรือ circadian rhythm กล่าวคือ อุณหภูมิแกนจะต่ำสุดในช่วงเช้ามืด และมีค่าสูงสุดในช่วงบ่าย สาเหตุเนื่องจากในเวลากลางวัน อุณหภูมิแวดล้อมมีค่าสูง และร่างกายมีการทำกิจวัตรประจำวัน

สำหรับสตรีในวัยเจริญพันธ์ อุณหภูมิแกนจะมีการเปลี่ยนแปลงตามรอบเดือน คือหลังจากตกไข่ อุณหภูมิแกนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประมาณ 0.5 $^{0}$ซ และอุณหภูมิจะอยู่ในระดับนี้จนถึงวันมีประจำเดือน อุณหภูมิจึงจะลดลงสู่ระดับปกติ ในกรณีหญิงตั้งครรภ์ อุณหภูมิจะคงอยู่ในระดับสูงตลอดไปภายหลังการตกไข่จนกระทั่งคลอด เชื่อว่าเป็นอิทธิพลของฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน (progesterone) ที่สร้างจากรังไข่

นอกจากนี้โรคบางชนิดทำให้อุณหภูมิแกนสูงกว่าปกติตลอดเวลา เช่น โรคไทรอยด์ทำงานเกิน (hyperthyroidism) มีการหลั่งฮอร์โมนไทรอกซินมากกว่าปกติ หรือในคนที่เป็นเนื้องอกของต่อมหมวกไตชั้นใน มีการหลั่งสารแคทีโคลามีนเข้าสู่ระบบไหลเวียน สารทั้ง 2 ชนิดนี้มีผลไปเพิ่ม metabolism ของเซลล์ทั่วร่างกาย ทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิสูงขึ้น

### 1.4 สมดุลความร้อน

การที่อุณหภูมิร่างกายมีค่าปกติ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับเข้ามาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก และทีผลิตขึ้นจาก metabolism ในร่างกาย จะต้องเท่ากับความร้อนที่ร่างกายสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม ถ้าปริมาณความร้อนที่ได้รับมีค่ามากกว่าปริมาณความร้อนที่สูญเสีย จะทำให้ร่างกายบุคคลนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ (hyperthermia) แต่ถ้าร่างกายมีการสูญเสียความร้อนมากกว่าความร้อนที่ได้รับอุณหภูมิของร่างกายจะต่ำกว่าปกติ (hypothermia) ร่างกายมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยการปรับเปลี่ยนกลไกกลไกในการสร้างและการระบายความร้อน เช่น เมื่ออุณหภูมิแกนของร่างกายลดลง ร่างกายจะพยายามลดการสูญเสียความร้อน โดยทำให้หลอดเลือดที่ผิวหนังหดตัว และกระตุ้นกลไกในการสร้างความร้อน เป็นต้น กลไกการสร้างและการระบายความร้อนที่ร่างกายใช้เพื่อควบคุมอุณหภูมิแกนให้มีค่าคงที่ มีดังนี้

**1.4.1 การสร้างความร้อน (Thermogenesis)**

**1.4.1.1 อัตรา metabolism ของร่างกาย (Basal metabolic rate, BMR)** หมายถึง ความร้อนที่เกิดขึ้นในระยะพัก ได้มาจากการเผาผลาญสารอาหาร ภายในเซลล์เพื่อนำพลังงานในรูปของ ATP ไปใช้ในการทำงานที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของเซลล์ เช่น การขนย้ายอิออนที่ผนังเซลล์ ค่า BMR ของคนปกติ มีค่าประมาณ 70-80 กิโลแคลอรี่/ชั่วโมง ในขณะออกกำลังกาย ค่า BMR จะสูงขึ้น เนื่องมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อลาย

**1.4.1.2 การเพิ่มความร้อนหลังการรับประทานอาหาร (Specific dynamic action)** เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการย่อย การดูดซึม และเก็บสะสมอาหาร พบว่าอาหารประเภทโปรตีนจะเพิ่มความร้อนได้มากกว่าอาหารคาร์โบไฮเดรท และไขมัน

**1.4.1.3 การสั่นของกล้ามเนื้อลาย (Shivering)** เป็นกลไกการผลิตความร้อน เมื่อร่างกายเผชิญกับความเย็นจัด เมื่อสัมผัสกับความเย็น ตัวรับรู้ความเย็นที่ผิวหนังและที่ไขสันหลัง จะส่งข้อมูลเข้าสู่ shivering center ซึ่งอยู่ในไฮโปทาลามัส จากนั้น shivering center จะส่งสัญญาณกลับมาที่ไขสันหลัง เพิ่มการทำงานของ motor neuron ที่มาควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลาย เพิ่มความตึงตัว (tone) ของกล้ามเนื้อลาย และตามมาด้วยการหดตัวเป็นจังหวะติดต่อกัน พลังงานที่เกิดขึ้นจะออกมาในรูปของความร้อน กลไกนี้อยู่นอกอำนาจจิตใจ เกิดขึ้นได้รวดเร็ว ในชั่วเวลาเป็นวินาทีถึงนาที และสามารถเพิ่มความร้อนได้ประมาณ 2-5 เท่าของความร้อนที่สร้างปกติ

**1.4.1.4 จากฮอร์โมน และเนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาล (brown fat tissue)** ในผู้ใหญ่ เมื่อกระทบความเย็นจัด ร่างกายจะมีการหลั่ง epinephrine และ norepinephrine จากต่อมหมวกไตชั้นใน จากปลายประสาทซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงต่อมโดยตรง ส่วนการเพิ่ม metabolism ของเซลล์โดยฮอร์โมนไทรอกซินจะใช้เวลานานกว่า โดยปกติต่อมไทรอยด์จะตอบสนองต่อความเย็น และหลั่งไทรอกซินเมื่อสัมผัสกับความเย็น 1-3 สัปดาห์ ส่วนในเด็กแรกเกิดจะตอบสนองต่อความเย็นโดยการสร้างความร้อนจากเนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาล เพราะเด็กไม่สามารถสร้างความร้อนจากการสั่น เนื่องจากไฮโปทาลามัสยังเจริญไม่เต็มที่ เด็กจะมีเนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาลมากที่หัวไหล่ ด้านหลังของกระดูกอก และรอบคอ การสร้างความร้อนโดยวิธีนี้จะถูกควบคุมโดย norepinephrine ที่หลั่งจากปลายประสาทซิมพาเทติกที่มาเลี้ยงไขมันชนิดนี้โดยตรง โดยเพิ่มการเพิ่มออกซิเดชั่นของกรดไขมัน

**1.4.2 การสูญเสียความร้อน**

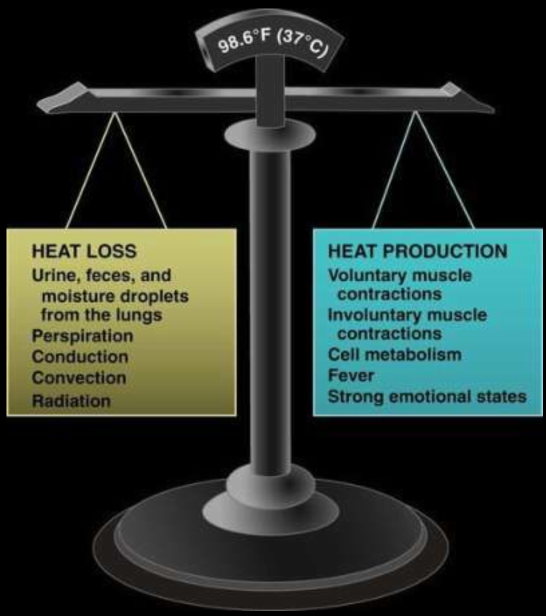
ร่างกายระบายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก 3 วิธีใหญ่ๆ คือ ทางผิวหนัง (97%) ระบบทางเดินหายใจ (2%) และทางระบบขับถ่ายอุจจาระและปัสสาวะ (1%) การสูญเสียความร้อนที่ผิวหนัง มี 4 วิธี คือ

**1.4.2.1 การแผ่รังสี (radiation)** เป็นการสูญเสียความร้อนออกจากผิวหนังในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ อัตราการสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวหนังและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และพื้นที่ผิวที่แผ่รังสี ร่างกายมีการสูญเสียความร้อนด้วยวิธีนี้ประมาณ 60%

**1.4.2.2 การพาความร้อน (convection)** เป็นการระบายความร้อนออกจากผิวหนังโดยอาศัยตัวพา เช่น อากาศ น้ำ ที่อยู่ล้อมรอบ ร่างกายมีการสูญเสียความร้อนด้วยวิธีนี้ประมาณ 12%

**1.4.2.3 การนำความร้อน (conduction)** เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยตรงระหว่างโมเลกุลของอากาศหรือสารที่สัมผัสกับผิวหนัง จากผิววัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ปกติร่างกายมีการสูญเสียความร้อนด้วยวิธีนี้ประมาณ 3%

**1.4.2.4 การระเหย (evaporation)** เป็นการสูญเสียความร้อนออกไป เพื่อทำให้น้ำที่ผิวหนัง เยื่อบุในปาก และทางเดินหายใจส่วนต้น ระเหยกลายเป็นไอโดยไม่รู้สึกตัว เรียกการสูญเสียความร้อนโดยวิธีนี้ว่า **insensible perspiration** ในวันหนึ่งๆ ร่างกายสูญเสียน้ำโดยวิธีนี้ ประมาณ 500 มล. ร่างกายจะมีการสูญเสียความร้อนโดยวิธีนี้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น




รูปที่ 17-1 สมดุลความร้อนในร่างกายมนุษย์

************************************

## ตอนที่ 2

## ระบบควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย (Thermoregulatory system)

อุณหภูมิแกนของร่างกายถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ ในขณะพักและขณะทำงาน เนื่องจากร่างกายมีศูนย์ควบคุมกลไก การสร้างและการระบายความร้อนที่อยู่ในสมองส่วนไฮโปทาลามัส ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของร่างกาย โดยตั้งอุณหภูมิที่กำหนด (setpoint temperature) ไว้ที่ 37 $^0$ซ

**2.1 องค์ประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ** ระบบควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

**2.1.1 ตัวรับรู้อุณหภูมิ (thermoreceptor)** พบอยู่ตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย ทำหน้าที่รับรู้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและส่งสัญญาณต่อไปยังสมอง ประกอบด้วย

**2.1.1.1 ตัวรับรู้อุณหภูมิส่วนปลาย (Peripheral thermoreceptor)** พบอยู่ใต้ผิวหนัง ประกอบด้วย

=> **ตัวรับรู้ความเย็น (cold receptor)** เป็นใยประสาทที่จะถูกกระตุ้นเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าประมาณ 12 - 35 $^0$ซ เรียกว่า เอ็นบัลบ์ ออฟ เคราส์ (Endbulbs of Krause)

=> **ตัวรับรู้ความร้อน (warm receptor)** จะส่งกระแสประสาทไปยังศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย เมื่ออุณหภูมิภายนอกต่ำกว่า 15 $^0$ซ หรือสูงกว่า 45 $^0$ซ

=> **ปลายประสาทชนิดเปลือย (nerve ending)** จะรับความรู้สึกทั้งร้อนและเย็น

ตัวรับรู้อุณหภูมิเหล่านี้จะนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ไฮโปทาลามัส โดยผ่านประสาทไขสันหลังด้านข้าง (lateral spinal tract) นอกจากนี้ยังพบตัวรับรู้อุณหภูมิที่อวัยวะอื่นๆ เช่น ในไขสันหลัง และอวัยวะภายในร่างกาย

**2.1.1.2 ตัวรับรู้อุณหภูมิส่วนกลาง (Central thermoreceptor)** พบในไฮโปทาลามัส ในระบบประสาทส่วนกลาง และอวัยวะภายในช่องท้อง ที่ไฮโปทาลามัส พบว่ามีเซลล์ประสาทที่รับรู้การเปลี่ยนแปลงความร้อน (heat sensitive neuron) และความเย็นเป็นจำนวนมาก ที่บริเวณ preoptic area และไฮโปทาลามัสส่วนหน้า

**2.1.2 ศูนย์ควบคุม**

ศูนย์ควบคุมอยู่ในไฮโปทาลามัสส่วนหน้าและบริเวณใกล้เคียง โดยจะรับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผิวหนัง หรือ อุณหภูมิแกน หรือจากตัวรับรู้อุณหภูมิที่อยู่ในสมองส่วนอื่นๆ จากนั้นสมองบริเวณดังกล่าวจะทำหน้าที่ควบคุมการไหลเวียนของเลือดไปสู่ผิวหนัง ควบคุมการสร้างความร้อน การทำให้เกิดขนลุก การขับเหงื่อ ส่วนข้อมูลที่ส่งเข้ามาทางไฮโปทาลามัสด้านข้างจะเกี่ยวข้องกับพฤติกรรม และที่ไฮโปทาลามัสส่วนหลังจะทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ เป็นทางผ่านเพื่อไปควบคุมอวัยวะการทำงาน (effector organs) ที่จะตอบสนองในการช่วยให้อุณหภูมิแกนคงที่ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ไฮโปทาลามัสทำหน้าที่ประสานระหว่างตัวรับรู้อุณหภูมิ และกลไกการทำงานของร่างกาย

**2.1.3 กลไกการทำงาน**

กลไกการทำงาน ประกอบด้วย กล้ามเนื้อลาย ไขมัน ต่อมเหงื่อ และหลอดเลือด รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ส่วนต่างๆ เหล่านี้จะทำงานรวมกันในการเพิ่มหรือลดความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ กลไกการทำงานถูกควบคุมโดยระบบประสาทเป็นส่วนใหญ่ จึงทำงานได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่เป็นการปรับตัวที่ใช้เวลานาน จะมีฮอร์โมนบางชนิดเข้ามาเกี่ยวข้อง ระบบประสาทที่มาควบคุมกลไกการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

- ระบบมอเตอร์นิวรอน ได้แก่ ระบบประสาทที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อลาย ทำให้เกิดอาการสั่นของกล้ามเนื้อ

- ระบบประสาทซิมพาเทติก ได้แก่ ระบบประสาทที่มาเลี้ยงเนื้อเยื่อไขมัน (brown fat) ต่อมหมวกไตชั้นใน หลอดเลือดที่ผิวหนัง และที่ต่อมเหงื่อ โดยจะช่วยเพิ่มความร้อนจากการทำงานของฮอร์โมนและ เนื้อเยื่อไขมัน หรือช่วยสงวนความร้อนจากการหดตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนัง และควบคุมการระบายความร้อนโดยการขับเหงื่อ

กลไกที่ร่างกายตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ประกอบด้วย 4 กลไกหลัก ได้แก่

**1) การควบคุมอุณหภูมิที่มาเลี้ยงบริเวณผิวหนัง** การทำงานของหลอดเลือดที่ผิวหนังจะเป็นปรากฏการณ์แรกของร่างกายที่ตอบสนองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ที่ผิวหนังจะมีหลอดเลือดฝอยมาเลี้ยงมากและสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง การถ่ายเทความร้อนจึงมีประสิทธิมาก เลือดที่ไหลมาเลี้ยงบริเวณผิวหนังนอกจากจะนำอาหารและออกซิเจนมาเลี้ยงผิวหนังแล้วยังช่วยพาความร้อนจากแกนของร่างกายมาถ่ายเทให้กับสิ่งแวดล้อม อัตราการไหลของเลือดมายังผิวหนังขึ้นอยู่กับการทำงานของไฮโปทาลามัสที่มาควบคุมการขยายและหดตัวของหลอดเลือด

เมื่ออุณหภูมิของร่างกายเปลี่ยนไป เช่น อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมลดลง ตัวรับรู้ความเย็นที่ผิวหนังถูกกระตุ้นและส่งกระแสประสาทเข้าไปยังศูนย์ควบคุมอุณหภูมิในสมอง หลังจากนั้นจะมีสัญญาณมากระตุ้นศูนย์ระบบประสาทซิมพาเธติกในไฮโปทาลามัส ทำให้หลอดเลือดแดงหดตัว ผลทำให้ปริมาณเลือดที่ไหลไปสู่ผิวหนังลดลง จึงเป็นการลดการสูญเสียความร้อนออกจากร่างกาย ในทางตรงข้ามเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น ร่างกายจะพยายามควบคุมไม่ให้อุณหภูมิของร่างกายสูงเกินไป โดยอาศัยการทำงานของตัวรู้ความร้อนที่ผิวหนังส่งสัญญาณไปกดศูนย์ระบบประสาทซิมพาเธติก ทำให้หลอดเลือดที่บริเวณผิวหนังมีการขยายตัว อัตราการไหลของเลือดที่มาที่ผิวหนังมากขึ้น ความร้อนจึงถูกพามาระบายออกให้กับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น อุณหภูมิของร่างกายจึงถูกรักษาให้มีค่าคงที่

ดังนั้นการทำงานของหลอดเลือดที่ผิวหนังช่วยควบคุมอุณหภูมิแกนให้คงที่ โดยการทำหน้าที่ทั้งสงวนความร้อนไว้ หรือการระบายความร้อนออก พบว่าร่างกายมนุษย์สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่โดยใช้กลไกควบคุมการทำงานของหลอดเลือดที่มาเลี้ยงบริเวณผิวหนังเพียงอย่างเดียว

**2) การควบคุมการสร้างความร้อน** เมื่อต้องเผชิญกับความเย็นจัด ร่างกายจะสร้างความร้อนด้วยวิธีต่างๆ เช่น เพิ่ม metabolism ของเซลล์ทั่วร่างกาย หรือ เนื้อเยื่อไขมัน brown fat ในเด็กเล็ก หรือกระตุ้นให้มีการสั่นของกล้ามเนื้อ เป็นต้น

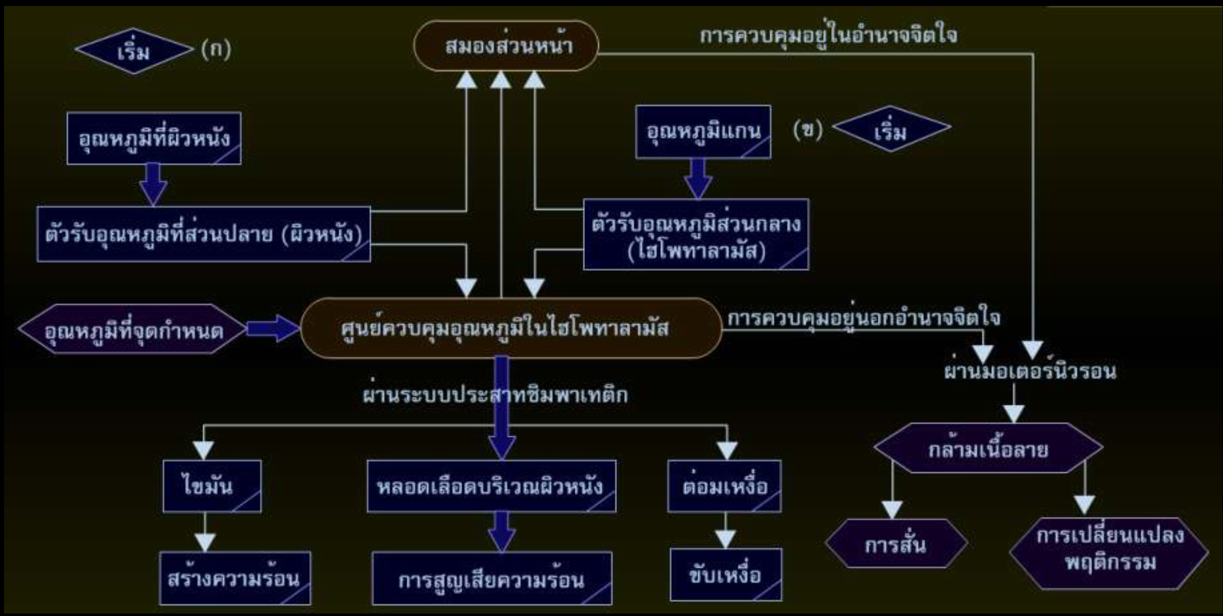
**3) การควบคุมการสูญเสียความร้อน** การขับเหงื่อเป็นกลไกอย่างเดียวที่ร่างกายใช้เมื่อร่างกายมีอุณหภูมิสูง ภายใต้การควบคุมของประสาทซิมพาเทติก การขับเหงื่อเกิดจากการกระตุ้นบริเวณส่วนหน้าของไฮโปทาลามัสด้วยความร้อนจัด และจากสารพวกเอพิเนฟริน หรือ นอร์เอพิเนฟริน ในกระแสเลือด ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดอัตราการหลั่งเหงื่อ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อัตราการขับเหงื่อจะสูง

**4) การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม** เมื่ออยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ ร่างกายพยายามที่จะสงวนความร้อนไว้ โดยการงอตัวเพื่อลดพื้นที่ในการสูญเสียความร้อน ใส่เสื้อผ้า การห่มผ้า หรือการพยายามเคลื่อนไหวตลอดเวลา แต่ถ้าอยู่ในอุณหภูมิสูง การใส่เสื้อผ้าบางๆ การดื่มน้ำบ่อยๆ ลดการเคลื่อนไหว พฤติกรรมเหล่านี้อยู่ภายใต้การควบคุมของสมองส่วนหน้า

### 2.2 กลไกการทำงานของไฮโปทาลามัสในการควบคุมอุณหภูมิแกนให้คงที่

ไฮโปทาลามัสทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางประสานงานการควบคุมอุณหภูมิแกน จะรับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากส่วนต่างๆ ของร่างกาย เพื่อเข้ามาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวหนังจะถูกตรวจสอบโดย peripheral thermoreceptors ส่วนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแกน จะถูกตรวจสอบโดย

central thermoreceptors ถ้าพบว่าอุณหภูมิของร่างกายต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนด ส่วนหน้าของไฮโปทาลามัสจะถูกกระตุ้น ร่างกายจะลดการสูญเสียความร้อนโดยการทำให้หลอดเลือดที่ผิวหนังหดตัว และเพิ่มเมทาบอลิซึม โดยการหลั่งฮอร์โมนเอพิเนฟริน หรือทำให้เกิดการสั่นของกล้ามเนื้อลาย ในทางตรงข้าม ถ้าพบว่าร่างกายในขณะนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนด จะมีการกระตุ้นเซลล์ที่ส่วนหน้าของไฮโปทาลามัส เร่งการระบายความร้อนโดยการทำให้หลอดเลือดที่ผิวหนังขยายตัวและเพิ่มการหลั่งเหงื่อ ส่วนกลไกการสร้างความร้อนจะถูกยับยั้ง และมีการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรม




รูปที่ 17-2 แสดงกลไกการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย

************************************

## ตอนที่ 3
## ระบบการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ในสภาวะการปรับตัว และในสภาวะที่เกิดพยาธิสภาพ

### 3.1 การปรับตัวต่อความร้อนและความเย็นที่ผิดปกติ

ร่างกายมนุษย์สามารถปรับตัวได้เมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก โดยมีวิธีการปรับตัว ดังนี้

**3.1.1 การปรับตัวต่อความร้อน** คนที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงตลอดเวลา นักกีฬาที่ออกกำลังกายเป็นเวลานาน ร่างกายจะมีการปรับตัวในเวลาประมาณ 5-10 สัปดาห์ เพื่อป้องกันร่างกายไม่ให้มีอุณหภูมิสูงเกินไป หลอดเลือดใต้ผิวหนังจะขยายตัวได้ง่ายและการขับเหงื่อจำนวนมากอย่างรวดเร็ว และมีการหลั่งฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน เพื่อเพิ่มการดูดกลับของโซเดียมที่ท่อไตรวมและที่ท่อของต่อมเหงื่อโดยตรง เป็นการลดการสูญเสียโซเดียมไปกับเหงื่อ ฤทธิ์ของอัลโดสเตอโรน นอกจากการดูดโซเดียมกลับ ยังมีผลในการขับโปตัสเซียม ทำให้มีโปตัสเซียมในเลือดลดลง ในคนที่มีการสูญเสียน้ำออกจากร่างกายจำนวนมาก ถ้าไม่ได้รับน้ำทดแทนอาจทำให้เป็นลมหมดสติได้ เรียกว่า heat exhaustion

**3.1.2 การปรับตัวต่อความเย็น** สำหรับคนที่อาศัยอยู่ในที่ที่มีอากาศเย็นเป็นเวลานาน จะพบการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ ได้แก่ อัตรา metabolism สูงขึ้นประมาณ 25% หลอดเลือดใต้ผิวหนังหดตัวได้เร็วขึ้น และมีไขมันใต้ผิวหนังหนา และพบว่ามี shivering threshold สูงขึ้น สามารถทนต่ออากาศเย็นได้โดยไม่เกิดการสั่นของกล้ามเนื้อ ส่วนในเด็กเล็กจะเพิ่มความร้อนโดยการเพิ่ม metabolism ของเนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาล

### 3.2 พยาธิสภาพ

**3.2.1 ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง**

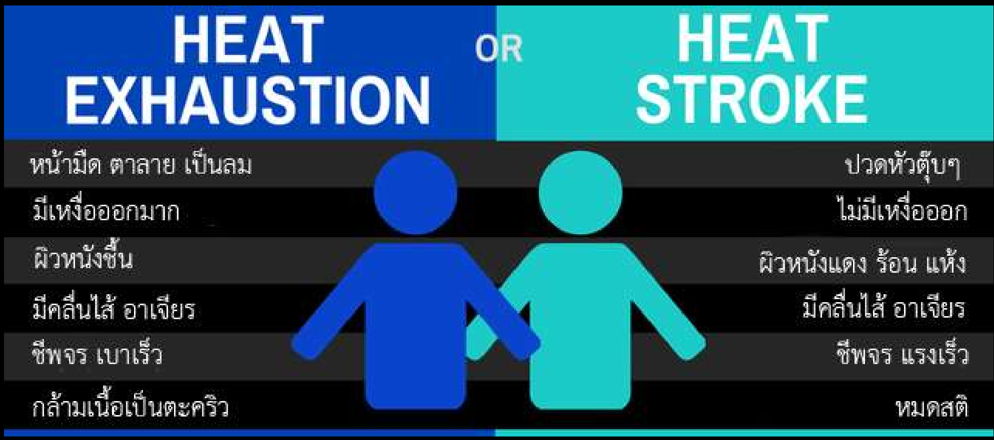
**3.2.1.1 ลมแดด (Heat stroke)** เป็นภาวะที่ผู้ป่วยต้องเผชิญกับสภาพอากาศที่ร้อนจัดเป็นเวลานาน จนทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิสูงกว่า 40 $^0$ซ ร่างกายจะเกิดการสูญเสียน้ำจำนวนมาก หากร่างกายไม่ได้รับน้ำทดแทนอย่างเพียงพอ จะมีผลให้ระดับความเข้มข้นของเลือดสูง จนไม่สามารถไหลเวียนไปเลี้ยงร่างกายได้อย่างทั่วถึง ต่อมเหงื่อหยุดทำงาน เพราะความสามารถในการทำงานของศูนย์ควบคุมอุณหภูมิลดลง ผู้ป่วยที่เป็น heat stroke มีอาการ 3 ประการสำคัญ คือ

1) มีไข้สูง

2) ระบบประสาทส่วนกลางทำงานผิดปกติ เช่น กระวนกระวาย, พฤติกรรมผิดปกติ, ก้าวร้าว, ประสาทหลอน หรือหมดสติ บางรายพบมีอาการโซเซ (ataxia) ตั้งแต่ระยะต้นๆ เนื่องจากการทำงานของสมองน้อย ไวต่อความร้อน และมีการทำงานผิดปกติ

3) ไม่มีเหงื่อ ผิวหนังแห้ง

**3.2.1.2 โรคเพลียแดด (Heat exhaustion)** เป็นภาวะที่ร่างกายมีอุณหภูมิสูงมากกว่า 37 $^0$ซ แต่ไม่ถึง 40 $^0$ซ ร่างกายมีอาการขาดน้ำและเกลือแร่อย่างรุนแรง อาการที่พบ คือ ผู้ป่วยจะมีอาการ อ่อนเพลีย เมื่อยล้า หัวใจเต้นเร็ว ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน หน้ามืด เป็นลม เป็นต้น ลักษณะสำคัญ คือ มีเหงื่อออก และผิวหนังชื้น พบบ่อยในผู้ป่วยสูงอายุที่ขาดน้ำ นักกีฬาที่ออกกำลังกายหนักและนาน โดยเฉพาะวันที่มีอากาศร้อน




รูปที่ 17-3 แสดงความแตกต่างของร่างกาย เมื่อเกิด Heat exhaustion และ Heat stroke

**3.2.2 ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ**

โดยทั่วไป ร่างกายสามารถทนต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง ความเย็นจะลด metabolism ของเซลล์ทั่วร่างกาย ลดอัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจ แต่ถ้าลดลงมากกว่า 33 $^{0}$ซ สมองจะเริ่มมึนงง ถ้าต่ำกว่า 30 $^{0}$ซ การทำงานของศูนย์ควบคุมอุณหภูมิจะเสียไป กล้ามเนื้อจะแข็งเกร็ง อาจไม่รู้สึกตัวได้ ถ้าอุณหภูมิยังลดต่อไปเรื่อยๆ จะทำให้มีความผิดปกติของหัวใจ และอาจเสียชีวิตได้




รูปที่ 17-4 แสดงลักษณะของเนื้อเยื่อบางส่วนถูกทำลายที่ถูกทำลายจากความเย็น (frost bite)

การเผชิญกับความเย็นเป็นเวลานาน อาจทำให้เนื้อเยื่อบางส่วนถูกทำลาย เช่น ถ้าน้ำบริเวณผิวเกิดการแข็งตัว เรียกว่าเกิด **frost bite** จะทำให้เจ็บปวดมาก หรือในผู้ป่วยที่เป็น Raynaud's disease หลอดเลือดแดงจะมีความไวต่อความเย็น และจะตีบตันโดยเฉพาะหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงบริเวณปลายมือ ปลายเท้า ทำให้ขาดเลือดไปเลี้ยง อาจมีการตายของเนื้อเยื่อ ถ้าขาดเลือดเป็นเวลานาน

ในทางการแพทย์ ความเย็นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผ่าตัดสมองและหัวใจ โดยการทำร่างกายมีอุณหภูมิต่ำ เรียกว่า **artificial hypothermia** เพราะขณะที่ลดอุณหภูมิของร่างกายลงมาถึง 21-24 $^0$ซ ระบบไหลเวียนจะหยุดทำงาน เซลล์ใช้ออกซิเจนลดลง และการทำงานของร่างกายจะกลับคืนสู่สภาพปกติภายหลังการผ่าตัด

************************************